NILSON ANTONIO BRENA
Bacharel em Ciências Biológicas

2ª Edição
Revista e Ampliada

A CHUVA ÁCIDA E OS SEUS EFEITOS SOBRE AS FLORESTAS

APÊNDICE I: CONSEQUÊNCIAS DA CHUVA ÁCIDA À SAÚDE HUMANA

APÊNDICE II: EFEITO ESTUFA, AQUECIMENTO DA TERRA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

NILSON ANTONIO BRENA
Bacharel em Ciências Biológicas

A CHUVA ÁCIDA
E
OS SEUS EFEITOS
SOBRE AS FLORESTAS

Apêndice I:
Consequências da Chuva Ácida
à Saúde Humana

Apêndice II:
Efeito Estufa, Aquecimento da Terra
e Mudanças Climáticas

2.ª Edição
São Paulo (SP), Brasil
2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Brena, Nilson Antonio
A chuva ácida e os seus efeitos sobre as florestas / Nilson Antonio Brena. -- 2. ed. -- São Paulo : Ed. do Autor, 2009.

"Apêndice I: Consequências da chuva ácida à saúde humana."
"Apêndice II: Efeito estufa, aquecimento da Terra e mudanças climáticas."
Bibliografia.

1. Chuva ácida. 2. Plantas – Efeitos da precipitação ácida. 3. Precipitação ácida (Meteorologia) – Efeitos fisiológicos. 4. Efeito estufa na Terra (Meteorologia) – Mudanças climáticas. I. Título.

Livro Registrado junto à Fundação Biblioteca Nacional sob o n.°
ISBN 978-85-902458-9-6

9 788590 245896

Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme
Decreto n.° 1.825 de 20 de dezembro de 1907
República Federativa do Brasil

Contato Comercial

Você pode comprar do autor uma autorização para confeccionar em formato papel (brochura) e vender este livro ou outros do autor. Para isto, ou para outras propostas comerciais, por favor solicite através dos *e-mails* abaixo, muito obrigado.

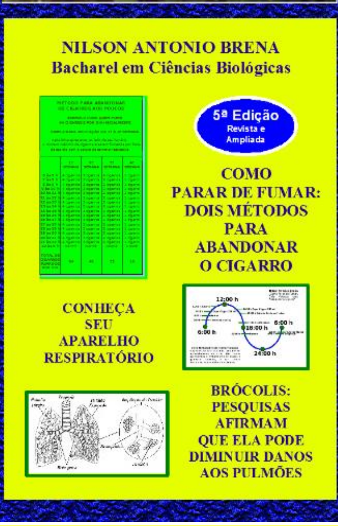
nilson.a.brena@gmail.com

nilsonbrena@yahoo.com

Livros do autor









Estes livros também podem ser encontrados em formato EPUB à venda em livrarias, algumas listadas a seguir:

Amazon
www.amazon.com.br

Livraria Cultura
www.livrariacultura.com.br

Kobo
www.kobo.com

Saraiva
www.saraiva.com.br

PATROCINADORES



Para ser um patrocinador,
faça seu pedido através do *e-mail*
livro.pdf@oi.com.br

Palestras Grátis

Nilson Antonio Brena profere palestras grátis em sua empresa, clube, sindicato, escola, faculdade, emissora de rádio ou tv, etc.

Envie um *e-mail* para
nilson.a.brena@gmail.com
informando:

1) Nome da instituição
2) Endereço
3) Quantidade de espectadores
4) Tema desejado

Veja alguns temas de palestras em www.youtube.com/NilsonBrena

Doações

Caso deseje colaborar com a distribuição grátis deste livro e outras atividades semelhantes do autor, como palestras grátis, deposite qualquer valor em nome de Nilson Antonio Brena:

Banco do Brasil
Agência 8525-1
Conta Corrente 2.514-3

Agradecimentos (1.ª Edição, 2002)

Agradeço a todos os meus professores, do primário ao segundo grau, lecionantes nas escolas públicas onde estudei, que me ensinaram movidos pelos ideais nobres existentes em seus corações. Agradeço aos meus professores universitários e da pós-graduação, pessoas de elevadíssimo valor, que alcançaram os maiores graus de conhecimento em suas áreas específicas através de seu grande esforço pessoal, alinhando-se entre os maiores mestres mundiais.

Agradeço especialmente a dois de meus professores da Universidade São Judas Tadeu onde obtive o grau de Bacharel em Ciências Biológicas: da área de Ecologia, à Doutora Gilda Schmidt; da área de Botânica Econômica, à Professora Oriana Aparecida Fávero.

Também agradeço em especial à minha orientadora do curso de pós-graduação em nível de Mestrado da USP – Universidade de São Paulo, Doutora Yara Struffaldi de Vuono, que me aceitou como seu orientado com grande cortesia e amor. Este curso de mestrado, que não pude concluir por motivo de força maior, deu origem a este livro, uma vez que ele possui o tema da dissertação que eu ali desenvolvia.

Agradeço a todos os meus antepassados, filhos perfeitos de Deus feitos à Sua imagem e semelhança, e sem os quais eu não existiria para desfrutar a beleza da vida e escrever a presente obra.

Agradeço a todos os meus amigos e companheiros de caminhada, que, por serem em grande número, faz com que seja inviável a citação de todos aqui.

Agradeço a todos os homens do mundo que, através de sua conduta regida pelos mais nobres ideais, permitiram a todos nós desfrutar da vida com mais saúde, melhores condições sociais e ambientais – se você olhar bem para a história, verá que são poucos aqueles a quem devemos praticamente tudo o que de melhor possuímos.

E agradeço a Deus, por nos permitir a alegria de desfrutar do que há de mais belo no universo – a vida!

Nilson Antonio Brena

Dedicatória (1.ª Edição, 2002)

Dedico este livro a todos os cidadãos brasileiros, especialmente aos mais humildes, que todos os dias acordam, vão trabalhar e sustentam suas famílias, passando praticamente despercebidos por todos nós: são milhões de atos diários de bondade extrema de corações verdadeiramente nobres que em silêncio concretizam a beleza da vida.

(1.ª Edição, 2002)

“Quando nada parece surtir efeito, eu vou ter com o homem que trabalha as pedras, e o observo marretando a rocha, cerca de uma centena de vezes antes que ela dê o menor sinal de rachar.

Mas, a centésima primeira martelada a divide em duas, e eu fico sabendo que isto não é obra apenas desta última martelada – e sim de todas as que vieram antes.”

Jacob Riis (1849 – 1914),
fotógrafo dinamarquês que viveu
nos Estados Unidos da América
e retratou as dificuldades
das classes menos favorecidas
economicamente

Prefácio à 1.ª Edição (2002)

Este livro se destina a todos os cidadãos brasileiros: do leitor comum a estudantes, professores, pesquisadores, pessoas e entidades ligadas à proteção ambiental, médicos, psiquiatras, psicólogos e todos aqueles que lidam com saúde pública direta ou indiretamente, agrônomos, agricultores, economistas, bem como às autoridades políticas de todos os níveis hierárquicos.

O início do Capítulo 2 *(nota: na 1.ª Edição do livro)*, definindo chuva ácida, é algo técnico, como não poderia deixar de ser para o benefício de estudantes e pesquisadores, mas fora este item e alguns poucos outros de descrição científica mais profunda, o leitor comum encontrará grande prazer e facilidade na compreensão de todo o explicado acerca da chuva ácida e de seus impactos às florestas e à saúde humana.

Além dos impactos causados aos ecossistemas florestais, a chuva ácida também age danosamente sobre lagos e rios, regiões costeiras marinhas, manguezais e tem influências nocivas diretas e indiretas sobre microrganismos do solo, insetos e animais. As emissões de SO_2 e NO_X (principais causadores da chuva ácida, como será explicado

posteriormente) também pioram a visibilidade, e ainda aumentam a produção de outros poluentes como sulfatos, nitratos e o nível terrestre de ozônio (*smog*), tudo isto com impacto sobre todos os ecossistemas, plantas de cultura e saúde pública. Nas cidades, a chuva ácida acelera a degradação dos materiais das construções de casas e edifícios, bem como suas pinturas. Estima-se em U$ 5 bilhões os custos anuais de conserto ou substituição de estruturas danificadas pela deposição de ácidos nos E.U.A. (Simon & DeFries, 1992). Além da pedra e pintura, os poluentes ácidos também atacam madeiras, tecidos e principalmente metais, resultando por exemplo na ferrugem em pontes. Além de tudo, a deposição de ácidos causa a corrosão de edifícios insubstituíveis, estátuas e esculturas que fazem parte da herança cultural das nações. Monumentos feitos de calcário, como a Acrópole de Atenas e o Memorial de Jefferson em Washington D.C. Nos E.U.A. Mostram sinais de estragos.

Devido aos pouquíssimos estudos realizados sobre chuva ácida no Brasil, os casos e exemplos citados neste livro quase sempre provêm dos países onde já se pesquisou mais profundamente este problema. Entretanto, é preciso deixar claro que a chuva ácida é uma realidade no Brasil, já causando grandes prejuízos monetários à nação, com danos às

colheitas agrícolas, às nossas grandes reservas ecológicas, e enormes malefícios à saúde pública. O quarto capítulo deste livro *(nota: na 1.ª Edição do livro)* é dedicado especialmente ao nosso país.

Pelo seu conteúdo, este livro contribui para a preservação de todo o patrimônio ecológico brasileiro, riquíssimo, lindo e exuberante, um dos maiores do planeta, embora esteja sendo rápida e violentamente degradado, principalmente por empresas madeireiras estrangeiras, urgindo que todos se mobilizem e ajam concretamente a fim de preservá-lo. Infelizmente, a chuva ácida já é mais um fator a impactar as nossas florestas.

Este livro também colabora com a prevenção e manutenção dos problemas de saúde pública gerados pela poluição ácida, levando informações novas e necessárias a médicos, psiquiatras, psicólogos e todos aqueles que lidam com saúde pública direta ou indiretamente.

Nilson Antonio Brena

Agradecimentos

Reitero meus agradecimentos descritos na 1.ª Edição desta obra.

E agradeço a Deus por esta nova edição!

Nilson Antonio Brena

Dedicatória

Dedico este livro a todos os estudantes que mantém em seus corações as virtudes do esforço, do trabalho, da perseverança, da nobreza interior, da honestidade, da humildade, do amor e, enfim, guardam em seu cerne o caráter.

"A grandeza de um país não depende da expressão de seu território, mas do caráter de seu povo."

Colbert

"Respeita a ti mesmo, e terás um caráter nobre."

Pitágoras

"Escolha seu caminho com reflexão e siga-o com perseverança, prezando o dever mais do que a reputação, e o gozo da consciência mais do que as lisonjas do mundo. Respeitando a personalidade alheia, conserve a sua individualidade, confiando tranquilamente no tempo e na experiência para ser conhecido."

Samuel Smiles

"Quem coloca o seu coração no acúmulo de dinheiro e de bens materiais está perdido numa das maiores ilusões deste mundo e desconhece a verdadeira felicidade. A maior riqueza que alguém pode possuir é o caráter."

Prefácio

Esta 2.ª Edição, revista e ampliada, traz novas e importantes informações.

O Capítulo 2 "Ácidos e Bases" fornece conceitos essenciais para a perfeita compreensão do que é a chuva ácida.

O Capítulo 5 "A Chuva Ácida no Brasil" traz números atuais das quantidades e fontes de geração de energia elétrica no país, da oferta interna de energia às indústrias, automóveis, etc., exemplos de avaliação de concentração de poluentes causadores de chuva ácida no Parque Dom Pedro II em São Paulo e na cidade de São Caetano do Sul no estado de São Paulo, bem como análise da concentração de poluentes e sua dispersão no Brasil com imagens de satélites.

A disseminação da poluição no país, a obtenção dos valores da concentração de poluentes atmosféricos em determinada localidade e as ocorrências de queimadas tem o seu monitoramento por satélites como uma ferramenta prática e essencial que, em nossos dias, está ao alcance de todos, em tempo real, pela internet! Em meu mestrado incompleto na Universidade de São Paulo (USP), cursei uma

disciplina denominada “Monitoramento Bio-climático Via Satélite” no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP), em São Paulo SP, cujo sítio na internet é http://www.iag.usp.br. Este sítio forneceu importantes dados e imagens que você verá neste livro, as quais foram obtidas a partir do endereço http://master.iag.usp.br [Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER)]; este último *link* apresenta em sua página inicial o seguinte alerta: “Atenção: As informações contidas neste *site* são geradas de maneira automática sem qualquer controle de qualidade regular. NÃO nos responsabilizamos pela utilização destas informações!”.

O Apêndice I “Consequencias da Chuva Ácida à Saúde Humana” traz agora importantes tabelas com os valores de padrões e índices de concentração de poluentes atmosféricos e seus potenciais riscos à saúde humana, fornecidas pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo.

Foi adicionada nesta edição o Apêndice II “Efeito Estufa, Aquecimento da Terra e Mudanças Climáticas” em virtude da gravidade que o tema assume em nossos dias, visto que estas alterações do meio ambiente podem colocar em risco de

sobrevivência o homem e toda a vida do planeta.

O aprofundamento científico em diversos itens abordados neste livro beneficia estudantes e pesquisadores; além disto, objetivando permitir a absorção do conteúdo da obra por todas as camadas da população, procurou-se utilizar no livro a linguagem mais simples e clara possível, oferecendo inclusive explicações adicionais detalhadas e completas em determinados assuntos a fim de permitir a compreensão dos temas primários abordados.

Muito feliz por estar ciente da contribuição que este livro oferece, em especial, aos estudantes, é com grande prazer que ofereço a todos esta nova edição!

Nilson Antonio Brena

Sumário

1

INTRODUÇÃO

1.1 VISÃO HISTÓRICA

Já por volta de 1661 foi descoberto por cientistas da Grã-Bretanha que a poluição industrial podia prejudicar a saúde das pessoas bem como as plantas situadas nas imediações das indústrias.

O termo “chuva ácida” foi usado pela primeira vez pelo químico e climatologista inglês Robert Angus Smith, em 1872, para descrever a precipitação ácida ocorrida em Manchester, logo após a Revolução Industrial (Brasil/USP São Carlos, 2005).

Após a Revolução Industrial, observou-se grande crescimento das indústrias nos séculos XVIII e XIX. Muito embora já se soubesse dos danos à saúde humana e ao meio ambiente, não se suspeitava até então que a poluição pudesse ser transportada para regiões distantes das indústrias. Foi então que, em 1881, um cientista norueguês notou um fenômeno que ocorria na costa oeste da Noruega, ao qual ele chamou

de *precipitação suja* (Baines, 1993). Como no local dessa precipitação não havia indústrias que emitissem poluentes, ele suspeitou que estes proviessem da Grã-Bretanha. E ele estava certo, pois de fato os ventos predominantes que vêm da Grã-Bretanha se dirigem diretamente aos países escandinavos. Atualmente, a Península Escandinava sofre problemas gravíssimos de ataque de chuva ácida, devido ao dióxido de enxofre gerado na Grã-Bretanha e nos países do Leste Europeu.

Os países escandinavos foram os primeiros a relacionar a queima de combustíveis fósseis com a acidez da chuva, nos anos 50, através dos estudos desenvolvidos por H. Rodhe (da Universidade de Estocolmo) e A. Darmerig (Humeres, 1992). Rapidamente, estes dois pesquisadores relacionaram a diminuição do pH da água e a diminuição dos peixes na região nórdica. Em 1969, vários países fizeram um levantamento geral da acidez da chuva no norte da Europa, e se verificou que os poluentes produzidos na Inglaterra e Alemanha Ocidental eram habitualmente levados pelos ventos para a Suécia e a Noruega. A gravidade da situação levantada era terrível: no sul da Noruega, numa área de 13.000 km^2 não havia mais peixes, e noutros 30.000 km^2 observou-se uma drástica diminuição da vida aquática. Pior ainda que tudo, até mesmo a qualidade da água destinada ao consumo humano estava também afetada. Todas as conclusões

destes trabalhos causaram grande apreensão à época e, em 1979, 34 países europeus assinaram uma convenção para efetivar as primeiras medidas de controle da poluição ácida de largo alcance. Em 1983, aderiram à convenção a União Soviética, Estados Unidos e Canadá.

Através dos anos, nos E.U.A., cientistas, guardas florestais e outros notaram que algumas florestas cresciam mais devagar do que o normal, sem saber exatamente qual seria a causa disto (USA/EPA, 1998). Além disso, nestas mesmas florestas, folhas comuns e aciculares tornavam-se de cor acastanhada e caíam quando deveriam estar verdes e saudáveis. Havia uma multiplicidade muito grande de poluentes e mesmo de agentes naturais suspeitos por estes danos. Contudo, após muitos anos de coleta de informações sobre a química e a biologia de florestas, estamos começando a compreender como a chuva ácida ataca o solo da floresta e as próprias plantas e árvores. Os sintomas inicialmente descritos se referem exatamente ao ataque por chuva ácida.

A chuva ácida foi reconhecida como danosa às florestas pela primeira vez somente nos anos 60, quando se verificou que alguns pinheiros da cadeia de montanhas conhecida como Sudetos, localizada entre a Polônia e a Tchecoslováquia, pinheiros estes utilizados

para fins madeireiros, exibiam ramos muito afinados, ocorrendo mesmo a morte de alguns; já em meados dos anos 70 constatou-se a morte de lotes inteiros de árvores, ao mesmo tempo em que outras não logravam sequer desenvolver-se; em 1993, aproximadamente 40% da mata já havia morrido ou estava se extinguindo, e áreas originalmente florestadas converteram-se em campos abertos (Baines, 1993). Os Sudetos situam-se numa área que recebe os ventos carregados de muito enxofre provenientes de uma região onde se queima linhito intensamente.

Nos E.U.A. foi criado, em 1982, o *National Acid Precipitation Assessment Program* (Programa Nacional de Avaliação de Precipitação Ácida) a fim de identificar as causas e efeitos da deposição ácida e poluentes relacionados (Mackenzie & El-Ashry, 1989). Como será visto oportunamente, além de impacto nos ecossistemas naturais, ocorrem também graves consequências sobre as plantações humanas, o que também tem impulsionado o Governo norte-americano a criar diversos programas para identificação dos diversos poluentes atmosféricos e seus efeitos. Já foi determinado, por exemplo, que as concentrações atuais de ozônio (poluente não ácido) estão causando perdas anuais de mais de 3 bilhões de dólares para as principais colheitas dos Estados Unidos. Ainda não se dispõem de números relativos aos prejuízos

ocasionados pelas precipitações ácidas em agricultura, mas pode-se afirmar com certeza que elas tem aumentado os gastos com a calagem do solo. Estima-se, por exemplo, a nível de ecossistemas, para comparação, que seriam necessárias mais de 300.000 toneladas de cal por ano, ao custo de 25 milhões de libras esterlinas, para neutralizar os ácidos nas florestas e lagos somente ao sul da Noruega (Baines, 1993). Muito mais grave do que isso: as precipitações ácidas nas culturas agrícolas, entre outras consequências, reduzem o crescimento das plantas e lhes ocasionam como efeito indireto a contaminação por metais tóxicos.

Também foi criado nos E.U.A. o *Acid Rain Program* (Programa da Chuva Ácida) que visa obter significantes benefícios ambientais e de saúde pública através da redução das emissões de dióxido de enxofre (SO_2) e dos óxidos de nitrogênio (NO_X), as principais causas primárias da chuva ácida (USA/EPA, 1998). Os Estados Unidos já possuem leis que visam combater a poluição atmosférica, estando estas definidas no *Clean Air Act*. Nesta regulamentação, o *Title IV* estabeleceu que deve haver uma redução anual das emissões de SO_2 da ordem de 10 milhões de toneladas em relação aos níveis de 1980. Para obter esta redução, esta lei requer duas fases de restrições ao combustível fóssil e à combustão em caldeiras de usinas geradoras de eletricidade. A Fase I, que começou em 1995, já obteve

excelentes resultados conforme demonstra a Figura 1-1. A Fase II estava programada para iniciar-se no ano 2000.

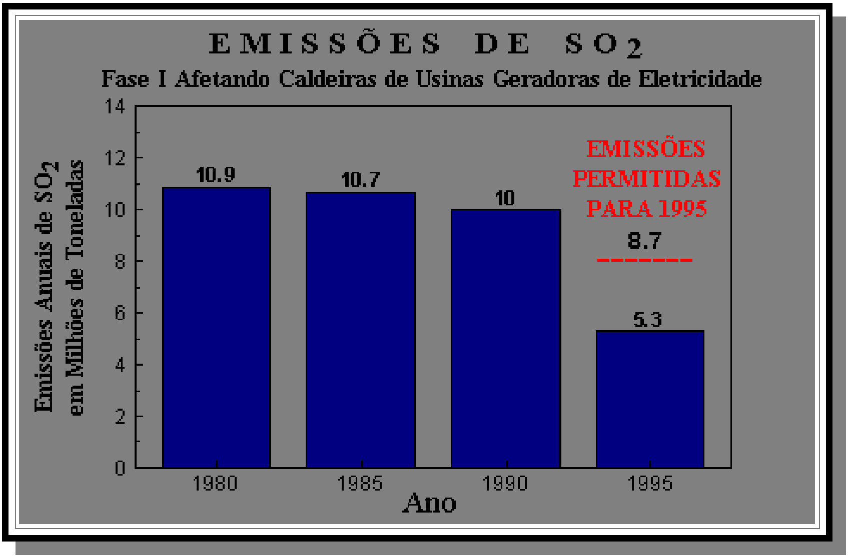


Figura 1-1. Emissões de SO_2 nos E.U.A. As barras mostram a evolução da redução das emissões após medidas supressoras, obtendo inclusive a superação da meta permitida para 1995. ***(Fonte: USA/EPA, 1998)***

Além do controle do SO_2, aquela lei também exigirá uma redução de 2 milhões de toneladas aos níveis de 1980 nas emissões de NO_X (vide Figura 1-2); também isto deverá ser realizado em duas fases: a Fase I que se iniciou em 1996, e a Fase II cuja programação era para início no ano 2000.

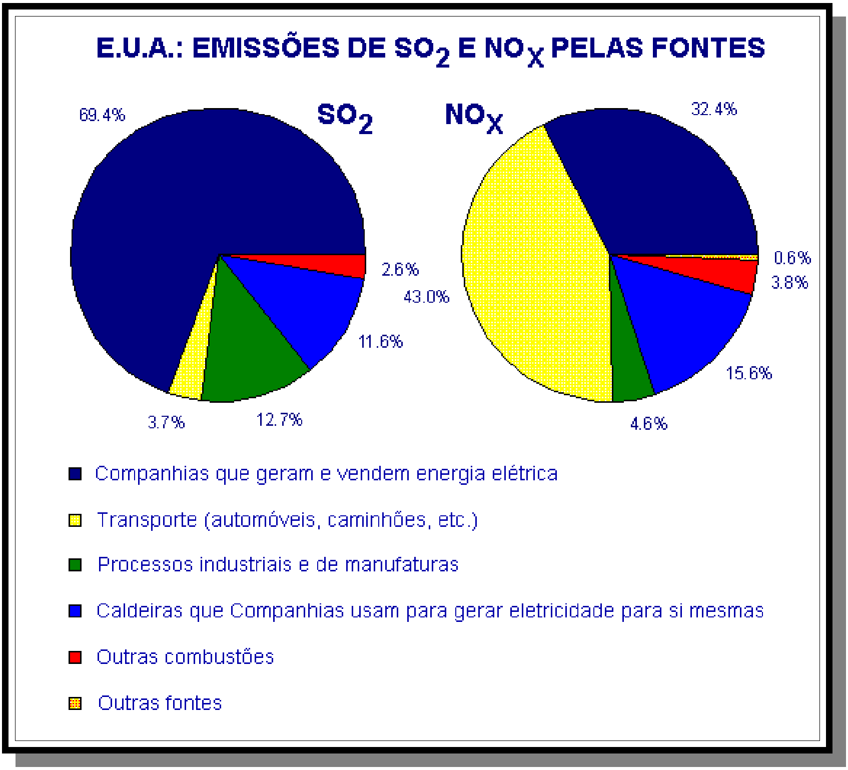


Figura 1-2. Porcentagens de Emissões das Fontes de SO_2 e NO_X nos E.U.A. *(Fonte: USA/EPA, 1998)*

O *Acid Rain Program* atua promovendo o controle da poluição, ao mesmo tempo em que também encoraja a eficiência energética (menos energia desperdiçada significa menos poluição com maior produção) e a prevenção da poluição.

Tudo o que foi descrito sobre o *Acid Rain Program* até o parágrafo anterior proveio da fonte

USA/EPA, 1998. As informações atuais, disponíveis na fonte USA/EPA, 2008, são descritas a seguir.

O objetivo atual do *Acid Rain Program* é limitar ou capturar (o autor deste livro está interpretando que a palavra "*cap*" do texto original seja abreviatura de *capture*) as emissões de SO_2 a partir das fontes geradoras de energia elétrica em 8,95 milhões de toneladas anuais começando em 2010, autorizar aquelas fontes a negociar concessões de SO_2, e reduzir as taxas de emissão de NO_X. Em adição, o programa continua encorajando a eficiência energética e a prevenção da poluição (USA/EPA, 2008).

Embora não sejam objetos de abordagem deste trabalho, é preciso lembrar que, além dos impactos sobre as florestas, a chuva ácida também age danosamente sobre lagos e rios, regiões costeiras marinhas, manguezais e tem influências nocivas diretas e indiretas sobre microrganismos do solo, insetos e animais. As emissões de SO_2 e NO_X também pioram a visibilidade, e ainda aumentam a produção de outros poluentes como sulfatos, nitratos e o nível terrestre de ozônio (*smog*), tudo isto com impacto sobre todos os ecossistemas, plantas de cultura e saúde pública. Nas cidades, a chuva ácida acelera a degradação dos materiais das construções de casas e edifícios, bem como suas pinturas. Estima-se em U$ 5 bilhões os

custos anuais de conserto ou substituição de estruturas danificadas pela deposição de ácidos nos E.U.A. (Simon & DeFries, 1992). Além da pedra e pintura, os poluentes ácidos também atacam madeiras, tecidos e sobretudo metais, resultando por exemplo na ferrugem em pontes. Além de tudo, a deposição de ácidos causa a corrosão de edifícios insubstituíveis, estátuas e esculturas que fazem parte da herança cultural das nações. Monumentos feitos de calcário, como a Acrópole de Atenas e o Memorial de Jefferson em Washington D.C. nos E.U.A. mostram sinais de estragos.

2

ÁCIDOS E BASES

2.1 CONCEITOS DE ÁCIDOS E BASES

2.1.1 A TEORIA DE ARRHENIUS



Fotografia 2-1. Químico sueco Svante August Arrhenius (1859-1927).

O químico sueco Svante August Arrhenius propôs em 1887 a sua teoria da dissociação eletrolítica; pelas pesquisas que realizou acerca dos eletrólitos,

recebeu o Prêmio Nobel em 1903.

A primeira definição moderna de ácidos e bases deve-se a Arrhenius. Ele conceituou **ácidos** como sendo as substâncias que, ao serem colocadas em solução aquosa (ou seja, em água, cuja fórmula química é H_2O), aumentam a concentração de **íons hidrônio (H_3O^+)**. Vejamos isto com um exemplo: O ácido nítrico (HNO_3) é chamado de **ácido** porque, ao ser misturado com água, ocorre uma reação química, que resulta na formação de **íons hidrônio**, conforme a equação a seguir:

$$\mathbf{HNO_3 + H_2O \leftrightarrow NO^{3-} + H_3O^+}$$

A dupla seta, em equações como acima, indica que a reação pode ocorrer em ambos os sentidos.

Arrhenius conceituou ainda, como **bases**, as substâncias que, em solução aquosa, aumentam a concentração de **íons hidróxido (OH^-)**. Exemplificando: o hidróxido de potássio (KOH) é classificado como **base** porque, ao ser misturado com água, ocorre uma reação química, que resulta na formação de **íons hidróxido**, conforme a equação a seguir:

$$KOH + H_2O \leftrightarrow K^+ + OH^-$$

A teoria de Arrhenius tem duas limitações: a primeira é que ela define ácidos e bases apenas para substâncias reagindo a partir de um meio aquoso; a segunda, é que ela explica o comportamento ácido e básico de um grande número de substâncias, mas não de todas, como por exemplo da amônia (NH_3), substância gasosa, volátil, que possui caráter básico.

2.1.2 A TEORIA DE BRÖNSTEDT E LOWRY

Em 1923, simultaneamente, Johannes Nicolaus Brönstedt na Dinamarca, e Thomas Martin Lowry na Inglaterra, compuseram uma nova teoria, independentemente entre si, que ampliou o conceito de ácido e base. Segundo Brönstedt e Lowry, define-se **ácido** como sendo **a substância que é capaz de doar um próton**, e **base** como sendo **a substância que é capaz de receber um próton**. O próton é a menor partícula livre de eletricidade positiva que se conhece e, como o núcleo do elemento químico hidrogênio (H) possui uma só carga elétrica, o termo próton é usado como sinônimo do elemento H.




Fotografias 2-2 e 2-3. À esquerda, o químico dinamarquês Johannes Nicolaus Brönstedt (1879-1947) e, à direita, o químico inglês Thomas Martin Lowry (1874-1936).

A teoria de Brönstedt e Lowry permite explicar o caráter básico da amônia. Segundo este conceito, quando adiciona-se água à amônia, a água atua como um ácido, cedendo um próton, e a amônia reage como uma base, recebendo este próton doado pela água, dando origem ao amônio (NH_4^+), conforme descrito na equação a seguir:

$$\mathbf{NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-}$$

Note também que, ao contrário da amônia, que é uma base, o amônio, produto na equação acima, possui caráter ácido, ou seja, tem condição de doar um próton.

Por Brönstedt-Lowry, ainda, não há a restrição de exclusividade de meio aquoso na reação química para definirmos ácidos e bases. Assim, como vemos na equação a seguir, sem a presença de água, o ácido clorídrico (HCl) cede um próton ao gás amônia, originando amônio:

$$\mathbf{HCl + NH_3 \leftrightarrow NH_4^+ + Cl^-}$$

Quaisquer ácidos e bases de Brönstedt-Lowry podem ser representados genericamente pelos chamados **pares conjugados**, conforme o exemplo da equação a seguir, que demonstra a dissolução do ácido acético (CH_3COOH) em água:

$$\mathbf{CH_3COOH + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + CH_3COO^-}$$

onde:

Ácido A + Base B ↔ Ácido B + Base A

Explicando, a partir do exemplo: o **ácido A** (CH_3COOH) e a **base A** (CH_3COO^-) formam juntos o **par conjugado A**, e a **base B** (H_2O) e o **ácido B** (H_3O^+) formam juntos o **par conjugado B**. Note que:

1.º) A única diferença entre os membros de um mesmo par conjugado é de apenas um próton;

2.º) Todos os ácidos e bases conceituados por Brönstedt-Lowry podem ser representados por **pares conjugados**;

3.º) Quando um **ácido é fraco**, sua **base conjugada é forte**, e, quando um **ácido é forte**, sua **base conjugada é fraca**, conforme explicação a seguir.

Ácido forte é a substância química que, em solução aquosa, atua como um **grande doador de prótons**. Isto é consequência de sua **base conjugada ser fraca,** ou seja, sua base não possuir afinidade por H^+, permitindo a ionização total (no caso, a liberação total de prótons) pelo seu par conjugado ácido. Devido à esta grande disponibilização de íons H^+, temos portanto um benefício oferecido por ácidos fortes, que é a formação de **substâncias eletrolíticas**, as quais oferecem excelente **condutividade elétrica**, como por exemplo a solução de ácido sulfúrico, tradicionalmente usada nas baterias dos veículos automotores. Muitos, entretanto, são os perigos e os malefícios, causados por ácidos, à saúde humana e à natureza, assuntos que

serão tratados mais adiante neste livro. Temos como exemplos de ácidos fortes o **ácido sulfúrico (H_2SO_4)** e o **ácido nítrico (HNO_3)**, que são, aliás, **os dois principais ingredientes da chuva ácida**.

Ácidos fracos são aqueles que liberam seus prótons parcialmente, devido sua **base conjugada ser forte**, ou seja, esta base possuir uma grande afinidade pelos íons H^+. Nesta classe, encontramos normalmente os chamados **ácidos orgânicos**. Em química, os ácidos orgânicos se inserem dentro da classe dos compostos orgânicos, os quais foram assim chamados, pela primeira vez, por pertencerem às substâncias provenientes de organismos vivos; posteriormente, ampliou-se o conceito, pois conseguiu-se produzir substâncias ditas orgânicas em laboratório, e passaram, então, a ser classificadas como compostos orgânicos todas as substâncias que possuem carbono; as demais substâncias, restantes, sem carbono, classificam-se em química como compostos inorgânicos. Entretanto, há autores que enquadram algumas substâncias como compostos de transição entre orgânicos e inorgânicos, visto apresentarem propriedades intermediárias entre ambos, que podemos citar como exemplos: o dióxido de carbono (CO_2), conhecido também como gás carbônico; o carbeto de cálcio (CaC_2), popularmente chamado de carbureto, o carbonato de cálcio ($CaCO_3$); etc. São exemplos de **ácidos orgânicos** o ácido acético (CH_3COOH), o ácido benzoico (C_6H_5COOH), o ácido linoleico ($C_{18}H_{32}O_2$), etc.

Dentro da definição de ácidos e bases de Brönstedt-Lowry há um curioso caso de ambiguidade, onde encontramos substâncias que podem agir ora como ácidos, ora como bases: são as denominadas **substâncias anfotéricas**. Vejamos um exemplo, nas equações a seguir:

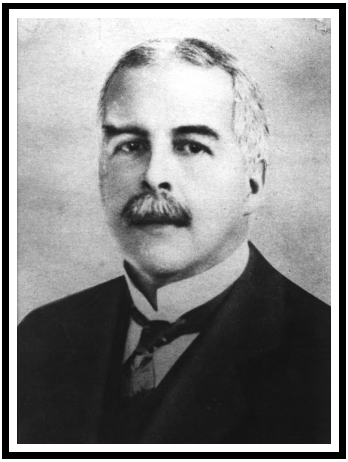
$$HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + CO_3^{2-} \quad (I)$$

$$HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 + OH^- \quad (II)$$

No caso (I), HCO_3^- se comporta como um ácido, e CO_3^{2-} age como sua base conjugada. Curiosamente, a reação descrita no caso (II) também pode ocorrer, porém, desta feita, HCO_3^- se comporta como uma base, e H_2CO_3 age como seu ácido conjugado!

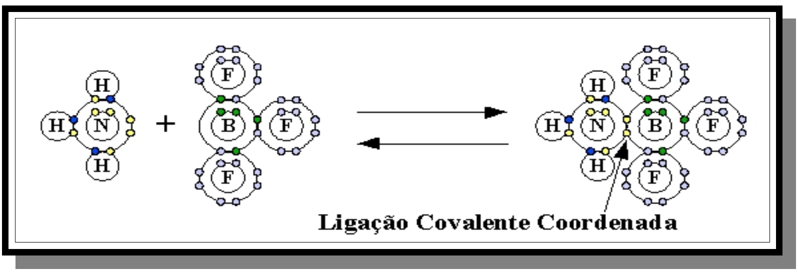
2.1.3 A TEORIA DE LEWIS

Entre 1923 e 1938 o químico estadunidenese Gilbert Newton Lewis realizou trabalhos que o levaram a apresentar novas definições para ácidos e bases: **ácido é uma substância capaz de receber um par elétrons solitários** e **base é uma substância capaz de doar um par de elétrons solitários**.



Fotografia 2-4. Químico estadunidense Gilbert Newton Lewis (1875-1946).

No exemplo a seguir, onde o trifluoreto de boro (BF_3) reage com amônia (NH_3), BF_3 é um ácido, pois está recebendo um par de elétrons, enquanto NH_3 é uma base, pois está doando um par de elétrons.



Na equação acima, o átomo de nitrogênio (N), que aqui será chamado de **doador**, coloca um par de

elétrons à disposição do átomo de boro (B), que aqui será chamado de **receptor**: a ligação formada chama-se **ligação covalente coordenada** ou **dativa** ou **semipolar**.

Note que nas definições teóricas de Arrhenius e de Brönstedt-Lowry nada há em BF_3 que o tornasse considerável como um ácido, o que já, entretanto, a teoria de Lewis permite afirmar: BF_3 age com um ácido ao aceitar o par de elétrons solitários de NH_3 e, por isso, dizemos então que a teoria de Lewis expande todos os conceitos anteriores de ácidos e bases.

2.2 SUPERÁCIDOS

Em largo uso na indústria moderna, encontramos os **superácidos**. São assim chamados os sistemas ácidos que apresentam mais força do que ácido sulfúrico concentrado (100%). Devido à sua potência, os superácidos são usados industrialmente, entre outras finalidades, para: a gaseificação do carvão mineral; reação com petróleo cru, quebrando suas moléculas e produzindo plásticos fortes e octano gasoso sem chumbo; etc.

Os principais constituintes do petróleo e do gás natural são os alcanos, os quais apresentam uma

reatividade química muito pequena com ácidos, bases e quaisquer agentes de oxidação, dificultando sobremaneira sua utilização na indústria química. A gasolina, por exemplo, pode ser obtida do petróleo a partir de dois processos industriais: o **craqueamento térmico** e o **craqueamento catalítico**. No craqueamento térmico temos a química dos radicais livres, não havendo nenhum rearranjo e isomerização do esqueleto hidrocarbônico. Já com o craqueamento catalítico há o prevalecimento da química de carbocátions, onde obtém-se como resultado comumente produtos com o esqueleto hidrocarbônico rearranjado e isomerizado, pois carbocátions tem a capacidade de sofrer rearranjos e migrações. O termo carbocátion foi sugerido pela primeira vez pelo químico húngaro George Andrews Olah, para designar qualquer espécie catiônica do carbono.

Assim, no craqueamento catalítico do petróleo há uma maior concentração de hidrocarbonetos ramificados de maior octanagem, em comparação com o processo térmico. A diferença na composição da gasolina, portanto, é consequência da natureza dos intermediários envolvidos nos dois processos, e a gasolina de mais alta octanagem é obtida com o craqueamento catalítico. Além da gasolina, com o craqueamento catalítico, a partir de frações pesadas de petróleo, obtém-se o gás liquefeito de petróleo,

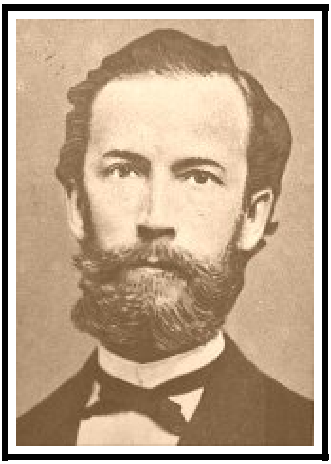
conhecido como GLP. Gasolina de alta octanagem, disponível nos postos de combustíveis automotivos com o nome de "aditivada", é muitas vezes produzida a partir de reações químicas onde o fluoreto de hidrogênio (HF) é o catalisador, o qual causa sérios problemas ao meio ambiente. A partir de seus estudos sobre sistemas superácidos, Olah desenvolveu um catalisador mais eficiente e menos poluente para este processo do que HF, e que já é atualmente utilizado em várias refinarias nos E.U.A. Fluoreto de hidrogênio é extremamente corrosivo e ataca até o vidro. HF, em solução aquosa, forma o ácido fluorídrico, com ponto de ebulição de apenas 19,5 °C. Estima-se que a produção anual de fluoreto de hidrogênio, mundialmente, gire em torno de 1.000.000 de toneladas!

É importante ressaltar que todos os processos químicos industriais trazem, invariavelmente, em menor ou maior grau, sérios malefícios aos ecossistemas. A utilização de superácidos, quase que os únicos reagentes possíveis para petróleo, pode gerar consequências gravíssimas à natureza, e temos de dar destino correto final a todos estes produtos, a fim de não impactar o meio ambiente, e ou ainda diminuir sua produção de maneira radical, caso desejemos que as gerações futuras possam existir, habitando este nosso planeta.

2.3 A ESCALA DE pH

O bioquímico dinamarquês Soren Peder Lauritz Sorensen (1868-1939) definiu em 1909 uma escala química para medirmos a acidez de uma solução, denominada **escala de potencial hidrogeniônico**, ou seja, a **escala de pH**.

Para compreendermos melhor a escala de pH, vamos antes conhecer um pouquinho dos maravilhosos trabalhos desenvolvidos entre 1874 e 1879 pelo físico alemão Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch, que buscaram compreender como a eletricidade é conduzida em soluções.



Fotografia 2-5. Físico alemão Friedrich Wilhelm Georg Kohlrausch (1840-1910).

Entre outras pesquisas, Kohlrausch estudou a dissociação da água e descreveu este processo usando equações que hoje são bem conhecidas. Para obter água pura, Kohlrausch teve grande trabalho, executado com incrível cuidado e precisão. Moléculas de H_2O podem agir como doadoras ou receptoras de prótons para outras moléculas também de H_2O. Caso uma molécula de H_2O receba um próton, ela se converterá num íon hidrônio H_3O^+, e se uma molécula de H_2O doar um próton ela se converterá num íon hidróxido OH^- (notar que a água é, assim, uma substância anfotérica, termo já explicado anteriormente, pois pode agir ora como ácido, ora como base). Este processo é chamado de dissociação ou auto-ionização da água, e pode ser representado pela seguinte equação:

$$\mathbf{H_2O + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + OH^-}$$

Na reação acima, podemos apurar a constante de dissociação da água, denominada de k_d, que será dada pela multiplicação da concentração molar de íons hidrônio $[H_3O^+]$ pela concentração molar de íons hidróxido $[OH^-]$, dividida pela concentração molar da água não dissociada $[H_2O]^2$, conforme a equação a seguir:

$$k_d = \frac{[H_3O^+] \;.\; [OH^-]}{[H_2O]^2}$$

Em água pura a 25 °C, a concentração molar de $[H_2O]$ é de 55,5 M, valor este relativamente constante em relação às concentrações muito baixas de íons H_3O^+ e OH^- que apresentam valor de 10^{-7} M, conforme será explicado adiante.

Se multiplicarmos, na equação do quadro acima, a constante de dissociação da água k_d pela concentração molar da água não dissociada $[H_2O]^2$, obteremos uma nova equação, conforme a seguir, cujo resultado será a constante de ionização, denominada de k_w, cujo valor, a 25 °C, é de 10^{-14}:

$$k_w = [H_3O^+] \;.\; [OH^-]$$

A 25 °C, $k_w = 10^{-14}$

Note que, na dissociação da água, para cada íon hidrônio formado origina-se igualmente um íon hidróxido: assim, a concentração molar de H_3O^+, cujo valor é 10^{-7} mol/l, será igual à concentração molar de

OH^-, ou seja, 10^{-7} mol/l; multiplicando estas concentrações molares, vem que: $k_w = 10^{-7} \cdot 10^{-7} \Rightarrow k_w = 10^{-14}$.

Quando, em uma determinada solução, a concentração molar de íons hidrônio H_3O^+ (ou de prótons H^+) (10^{-7} mol/l) é igual à concentração molar de íons hidróxido OH^- (10^{-7} mol/l), dizemos que ***não há acidez***, ou seja, dizemos que esta solução é ***neutra***. Note, assim, que o valor de concentração molar 10^{-7} mol/l de íons H^+ representa a ***neutralidade***.

Quando a concentração de H^+ em uma solução apresentar valores maiores do que 10^{-7} mol/l, dizemos que a solução é ***ácida***. Note que, matematicamente, valores maiores do que 10^{-7}, como temos a presença de expoente negativo, são números como 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}, etc.

Inversamente, quando a concentração de H^+ em uma solução apresentar valores menores do que 10^{-7} mol/l, dizemos que a solução é ***básica*** ou ***alcalina***. Note que, matematicamente, valores menores do que 10^{-7}, como temos a presença de expoente negativo, são números como 10^{-8}, 10^{-9}, 10^{-10}, etc.

A fim de evitar a notação científica (exponencial) acima caracterizada, Sorensen postulou a

escala de pH, que é definida como o ***logaritmo negativo em base 10 da concentração molar de íons hidrogênio (H^+)***. Assim, o valor de pH de uma solução será dado pela equação a seguir:

$$\mathbf{pH = -\log [H^+]}$$

Vamos compreender o cálculo do pH tomando como exemplo a água do mar, onde a concentração molar de íons H^+ é de aproximadamente 10^{-8} moles por litro, ou mais simplesmente 10^{-8} mol/l; o pH da água do mar será dado conforme a resolução da equação a seguir, acompanhe:

Cálculo do pH da água do mar, cuja concentração de H^+ é de aproximadamente 10^{-8} mol/l:

$$pH = -\log [10^{-8}]$$
$$pH = (-8) \cdot (-\log [10])$$
$$pH = (-8) \cdot (-1)$$
$$pH = 8$$

A escala de pH apresenta como ponto neutro o valor 7: valores maiores que 7 indicam soluções

básicas ou alcalinas e, valores menores que 7, soluções ácidas.

Conheça os valores de pH de algumas substâncias:

SUBSTÂNCIA	VALOR DE pH
Leite de magnésia	10,5
Água do mar	8,0 a 8,2
Sangue humano	7,4
Saliva humana	6,5 a 7,5
Leite de vaca	6,3 a 6,6
Café (bebida)	4,8 a 5,2
Suco de tomate	4,0 a 4,4
Suco de maçã	2,9 a 3,3
Suco de limão	2,2 a 2,4

Tabela 2-1. Exemplos de valores de pH de algumas substâncias comuns.

Em analogia à escala de pH, podemos construir também uma ***escala de pOH***, que levará em consideração a ***concentração molar de íons hidróxido OH^-***. Assim, a escala de pOH será dada pelo ***logaritmo negativo em base 10 da concentração molar de íons hidróxido (OH^-)***:

$$pOH = -\log [OH^-]$$

A escala de pOH apresenta como ponto neutro o valor 7: valores menores que 7 indicam soluções básicas ou alcalinas e, valores maiores que 7, soluções ácidas.

A tabela a seguir resume os conhecimentos descritos:

ESCALA DE pH	ESCALA DE pOH	CONCENTRAÇÃO MOLAR DE H^+	CONCENTRAÇÃO MOLAR DE OH^-	BASICIDADE OU ACIDEZ EM RELAÇÃO AO pH 7 OU AO pOH 7
pH 14	pOH 0	10^{-14} mol/l	10^{0} mol/l	10.000.000 VEZES MAIS BÁSICO
pH 13	pOH 1	10^{-13} mol/l	10^{-1} mol/l	1.000.000 VEZES MAIS BÁSICO
pH 12	pOH 2	10^{-12} mol/l	10^{-2} mol/l	100.000 VEZES MAIS BÁSICO
pH 11	pOH 3	10^{-11} mol/l	10^{-3} mol/l	10.000 VEZES MAIS BÁSICO
pH 10	pOH 4	10^{-10} mol/l	10^{-4} mol/l	1.000 VEZES MAIS BÁSICO
pH 9	pOH 5	10^{-9} mol/l	10^{-5} mol/l	100 VEZES MAIS BÁSICO
pH 8	pOH 6	10^{-8} mol/l	10^{-6} mol/l	10 VEZES MAIS BÁSICO
pH 7	pOH 7	10^{-7} mol/l	10^{-7} mol/l	NEUTRALIDADE
pH 6	pOH 8	10^{-6} mol/l	10^{-8} mol/l	10 VEZES MAIS ÁCIDO
pH 5	pOH 9	10^{-5} mol/l	10^{-9} mol/l	100 VEZES MAIS ÁCIDO
pH 4	pOH 10	10^{-4} mol/l	10^{-10} mol/l	1.000 VEZES MAIS ÁCIDO
pH 3	pOH 11	10^{-3} mol/l	10^{-11} mol/l	10.000 VEZES MAIS ÁCIDO
pH 2	pOH 12	10^{-2} mol/l	10^{-12} mol/l	100.000 VEZES MAIS ÁCIDO
pH 1	pOH 13	10^{-1} mol/l	10^{-13} mol/l	1.000.000 VEZES MAIS ÁCIDO
pH 0	pOH 14	10^{0} mol/l	10^{-14} mol/l	10.000.000 VEZES MAIS ÁCIDO

Tabela 2-2. Valores correspondentes das escalas de pH e pOH, bem como das concentrações molares de H^+ e OH^-, e a quantidade de vezes de basicidade ou acidez em relação ao pH 7 ou ao pOH 7.

Referentemente à Tabela 2-2, note que:

1.º) A escala de pH possui ordem inversa da escala de pOH relativamente às respectivas concentrações molares de H^+ e de OH^-;

2.°) A soma das concentrações molares de H^+ e OH^- para um dado valor de pH ou pOH será sempre igual a 10^{-14};

3.º) Como a escala de pH ou pOH é logarítmica, o grau de acidez ou basicidade entre um valor de pH ou pOH e seu anterior ou subsequente na tabela não é de apenas uma unidade, mas sempre multiplicado pelo fator 10, conforme a última coluna da tabela;

4.º) O crescimento por fator 10 representado na última coluna da tabela mostra como é difícil trazer para a neutralidade, com a adição de reagentes químicos adequados, um pH ou pOH distante do valor 7, expressando a grande dificuldade e alto custo de se corrigir a acidez de rios, lagos e solos impactados com ácidos ou bases, como no exemplo a seguir: se precisamos de 10 galões de um determinado reagente para fazer com que uma certa área impactada que adquiriu pH 6 volte ao pH 7, precisaríamos de 100 galões do mesmo reagente para fazer com que a mesma área impactada que tivesse adquirido pH 5 pudesse voltar ao pH 7.

O químico estadunidense Louis Plack Hammet (1894-1987) apresenta uma escala que traz valores de ***acidez efetiva*** além do intervalo convencional de pH.

A função acidez de Hammet (H_o) apresenta o

pH efetivo de uma solução não aquosa. A escala proposta baseia-se numa solução hipotética com a mesma relação de equilíbrio ácido/base conjugada encontrada na solução aquosa.

Atualmente, admite-se os seguintes limites de valores de acidez e basicidade:

Limites verificados na prática

-25 ↔ **+25**

Limites em teoria

-50 ↔ **+50**

3

CHUVA ÁCIDA

3.1 INTRODUÇÃO

A denominação “chuva ácida”, por ser uma expressão mais simples, é comumente empregada para se referir a muitos tipos de precipitações ácidas. Na verdade, a precipitação ácida na forma de chuva é apenas uma das várias formas de precipitações ácidas que podem ocorrer: também devem ser considerados a neve, granizo e neblina ácidos. Além disso, a acidez atmosférica também pode se manifestar através de gases ou partículas secas ácidas (Simon & DeFries, 1992), bem como na forma de aerosol ácido.

3.2 A CHUVA ÁCIDA NATURAL

A água que evapora de rios, lagos, oceanos, solo, etc., possui um valor de pH neutro (pH 7).

Entretanto, na própria natureza, o vapor d’água pode se combinar com gases atmosféricos diversos, como por exemplo com o dióxido de carbono

(CO_2): neste caso, o vapor d'água atmosférico se tornará ligeiramente ácido, pois será formado o ácido carbônico (H_2CO_3), conforme a equação a seguir:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

Assim, a chuva, ainda isenta de poluentes gerados pelo homem, pode apresentar-se ligeiramente ácida: Simon & DeFries (1992) citam que a chuva natural com valores de pH de 5,4 a 5,2 são comuns, sendo extremos os casos de pH menores que 5. Esta acidez, muitas vezes, tem origem em ácidos orgânicos, que são ácidos fracos *(veja, no item "2.1.2 A Teoria de Brönstedt e Lowry", a definição de ácidos fracos)*, o que faz com que os valores de pH acima estejam enquadrados no equilíbrio global dos ecossistemas, não constituindo portanto qualquer agressão ao meio ambiente, visto ocorrerem naturalmente.

3.3 A CHUVA ÁCIDA CAUSADA PELO HOMEM

Determinadas atividades humanas causam poluição atmosférica que vem a gerar chuva ácida, a qual possui valores de pH que podem variar de 4,9 a 1,9 (Baines, 1993). Como a escala de pH é logarítmica, o valor de 4,9 apresenta-se aproximadamente como 100

vezes mais ácido do que o pH neutro (pH 7), e o valor de pH 1,9 é aproximadamente 100.000 vezes mais ácido que a neutralidade *(veja e explicação disto no item "2.2 A Escala de pH")*.

Vejamos, a seguir, como certas atividades poluidoras humanas estão fazendo com que a chuva atinja valores tão baixos de pH.

3.3.1 DEFINIÇÃO DE CHUVA ÁCIDA CAUSADA PELO HOMEM

A queima de combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo, gera, entre outros poluentes, o dióxido de enxofre (SO_2) e os óxidos de nitrogênio (NO e NO_2, genericamente denominados NO_X), que são dois dos principais ingredientes para a formação da chuva ácida. Ocorre que estes gases reagem com o vapor d'água presente na atmosfera, transformando-se então no ácido sulfúrico (H_2SO_4) e no ácido nítrico (HNO_3) diluídos, dando então origem, quando de sua precipitação atmosférica, ao que chamamos de chuva ácida.

São as seguintes as equações das reações que originam os ácidos sulfúrico e nítrico, respectivamente, consumindo oxigênio e água atmosféricos (Gould, 1985):

$$SO_2 + \frac{1}{2} O_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

$$NO + NO_2 + O_2 + H_2O \rightarrow 2\,(HNO_3)$$

3.3.2 VIAS DE FORMAÇÃO DE CHUVA ÁCIDA

A formação dos ácidos sulfúrico e nítrico a partir do vapor d'água atmosférico pode provir de muitas diferentes reações químicas e não apenas das representadas nas equações descritas no item anterior. Na verdade, o maior caminho de formação destes ácidos não é o que envolve o oxigênio atmosférico diretamente, mas sim poderosos agentes oxidantes: radical hidroxila (HO ou OH), radical hidroperóxido (HO_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2, a chamada água oxigenada) e ozônio (O_3) que estão ubiquamente na atmosfera (Gould, 1985 e Humeres, 1992).

O maior caminho para a formação de chuva ácida para ambos SO_2 e NO_X é o da reação com o radical hidroxila (OH), uma molécula altamente reativa. A reação entre SO_2 e (OH) produz o instável radical bissulfito, também denominado hidrogenossulfito ou sulfito ácido, um ânion monovalente (-1), no lado direito da equação a seguir:

$$SO_2 + (OH) \rightarrow HSO_3^-$$

Devido a sua instabilidade, o radical bissulfito (HSO_3^-) é imediatamente oxidado a bissulfato (HSO_4^-), também denominado hidrogenossulfato ou sulfato ácido, um ânion monovalente (-1). Esta reação acontece no ar aberto (oxidação da fase gasosa) produzindo um aerosol ou uma neblina de sulfato ácido. Sob a luz solar, esta reação ocorre rapidamente, sendo portanto mais intensa no verão e ao meio-dia. Este caminho que acabamos de descrever produz acima de 20 - 25% do sulfato ácido suspenso no ar (Gould, 1985).

O NO_2 reage com (OH) formando ácido nítrico diretamente, no lado direito da equação a seguir:

$$NO_2 + (OH) \rightarrow HNO_3$$

Esta reação é consideravelmente mais rápida do que aquela envolvendo SO_2, e se processa apreciavelmente, de maneira constante, à noite. Ela é a responsável pela maior parte do ácido nítrico (HNO_3) formado no ar.

A maior parte do sulfato ácido suspenso no ar parece ser formada nas nuvens de chuva (oxidação da fase aquosa). O dióxido de enxofre (SO_2) se dissolve para formar o ânion bissulfito (HSO_3^-), que então reage com o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) para formar sulfato ácido (HSO_4^-). O resultado desta reação é a rápida diminuição do pH. A pHs acima de 5,0, a reação entre HSO_3^- e ozônio (O_3) torna-se apreciável e pode vir a ser o caminho dominante para a formação de ácido.

A oxidação de SO_2 a sulfato ácido (HSO_4^-) é também catalisada sobre a superfície de partículas finas presentes nas plumas das nuvens de fumaça das chaminés. Contudo, este caminho é responsável pela menor fração do sulfato ácido formado na atmosfera, em virtude da taxa de reação ser relativamente lenta.

Gould (1985) explica que a importância relativa dos caminhos atrás mencionados dependerá de muitos fatores, como por exemplo: a taxa de NO_X em relação aos hidrocarbonetos no ar; a disponibilidade de luz solar; a umidade, e; a presença de outros poluentes. Globalmente, a conversão de SO_2 em ácido se completa em um intervalo de tempo que pode levar de algumas horas a vários dias, enquanto NO_X é provavelmente convertido a ácido dentro de horas.

3.3.3 FONTES EMISSORAS DE POLUENTES CAUSADORES DE CHUVA ÁCIDA

Eventualmente, fenômenos naturais podem contribuir com a poluição atmosférica, como os vulcões que, quando entram em erupção, lançam muitos gases na atmosfera, como o dióxido de enxofre, um dos causadores da chuva ácida. Entretanto, os efeitos das erupções vulcânicas tem curta duração, de modo que, fenômenos naturais como este são responsáveis por apenas cerca de 10% da poluição atmosférica mundial (Baines, 1993), sendo o restante causado pelas atividades humanas.

A queima de combustíveis fósseis é a maior responsável pela contaminação do ar por SO_2, NO e NO_2, que são os mais importantes ingredientes da chuva ácida. O SO_2 é o primeiro maior causador da acidificação, sendo os óxidos NO e NO_2 a segunda maior causa.

Nos Estados Unidos, os óxidos de enxofre e de nitrogênio são cerca de um terço dos poluentes atmosféricos gerados pelas indústrias (Odum, 1988). A Figura 3-1 traz as porcentagens de emissões destes gases nos E.U.A.

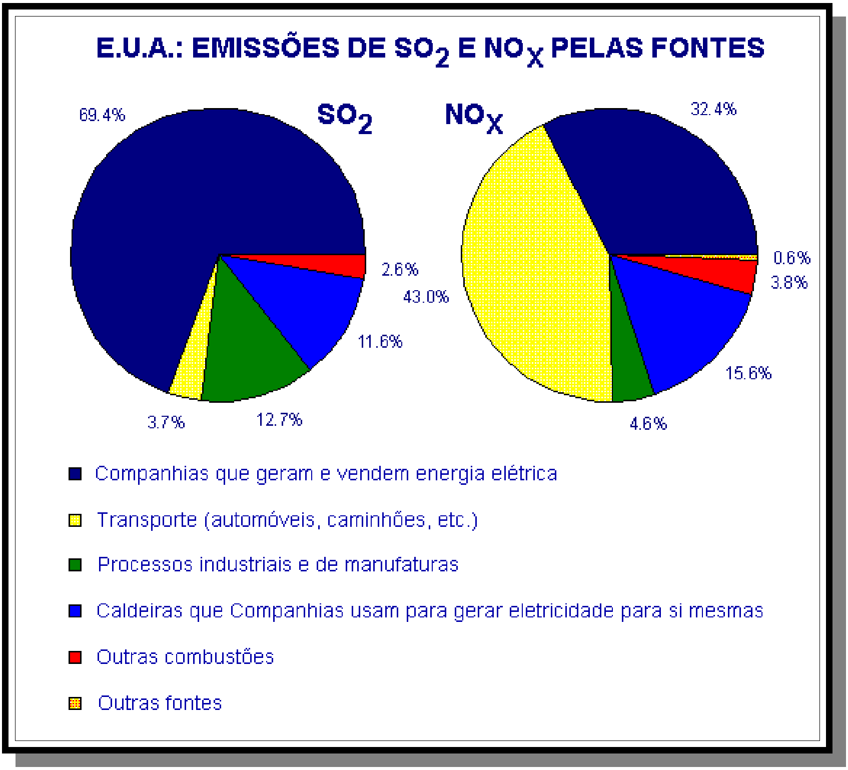


Figura 3-1. Porcentagens de Emissões das Fontes de SO_2 e NO_X nos E.U.A. *(Fonte: USA/EPA, 1998)*

A queima de carvão mineral é uma das principais fontes de dióxido de enxofre. O SO_2 também é gerado quando minérios de ferro com alto teor de sulfeto são usados em fundições (Simon & DeFries, 1992). As usinas termelétricas se utilizam da queima de combustíveis fósseis para produzir energia e, junto com as fábricas, são as maiores responsáveis pela liberação de SO_2 na atmosfera. Também são produtoras de

dióxido de enxofre as fundições não-ferrosas, refinarias de petróleo e fábricas de ácido sulfúrico (Humeres, 1992). Segundo Baines (1993), são lançadas, por ano, cerca de 24 milhões de toneladas de dióxido de enxofre na América do Norte, e 44 milhões de toneladas na Europa.

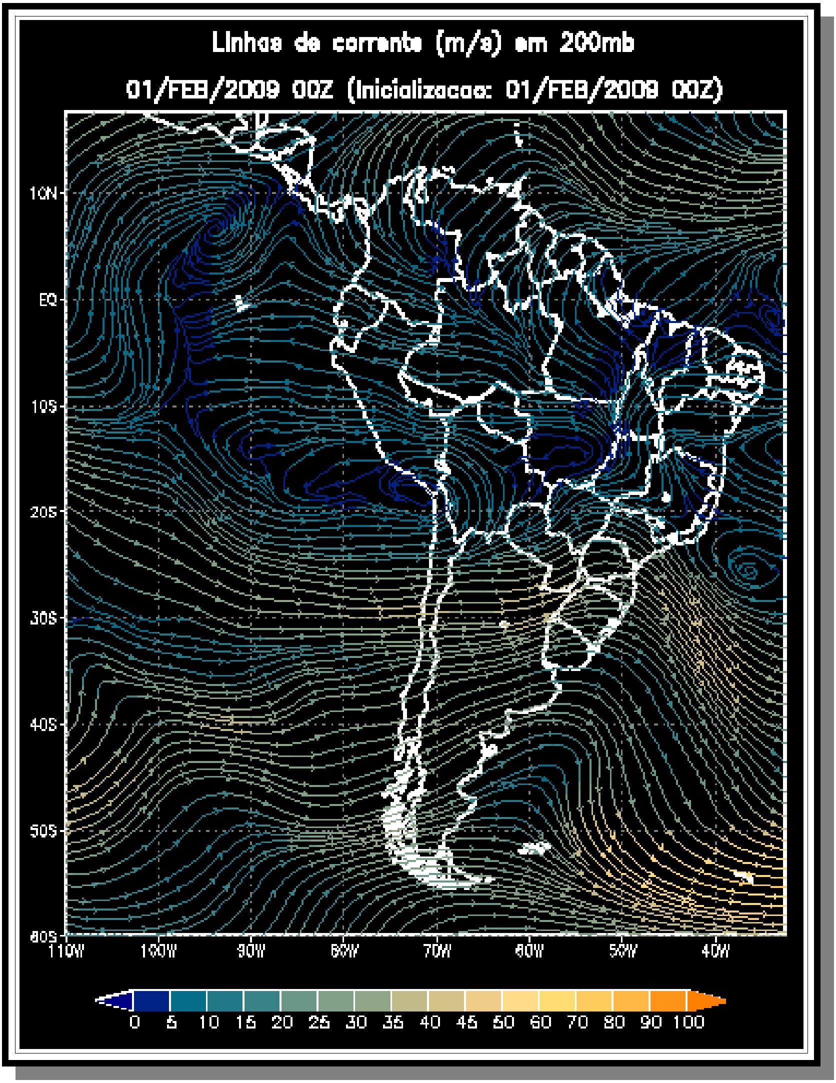
Os maiores produtores dos óxidos de nitrogênio são os motores dos veículos, ao lado de outras combustões industriais, pois estes óxidos são subprodutos da queima de combustíveis fósseis como a gasolina, óleo e gás natural (Simon & DeFries, 1992). Baines (1993) relata que são geradas, por ano, 22 milhões de toneladas destes óxidos na América do Norte, e 15 milhões de toneladas na Europa Ocidental.

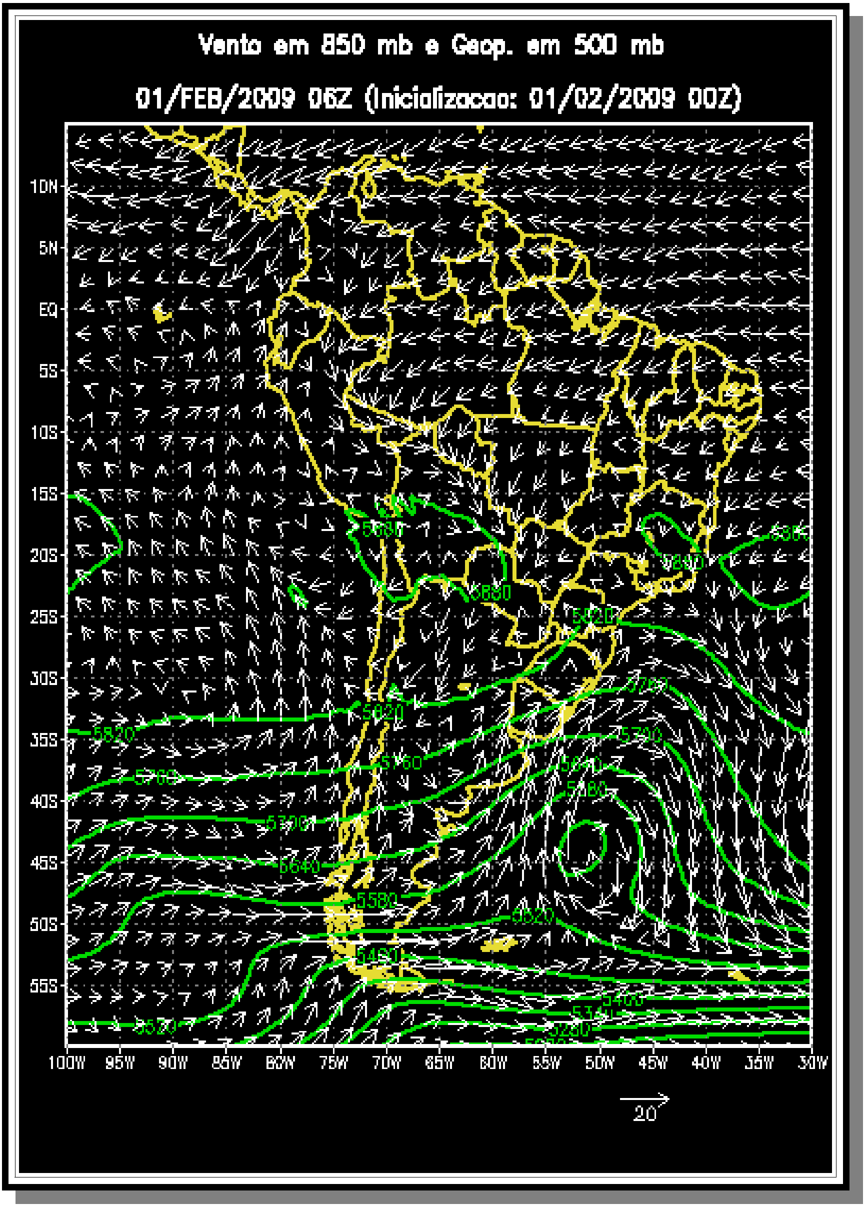
Cerca de 90% das emissões antropogênicas de SO_2, NO e NO_2 ocorrem no Hemisfério Norte (Benkovitz *et al.*, 1996, *apud* Ryaboshapko *et al.*, 1998).

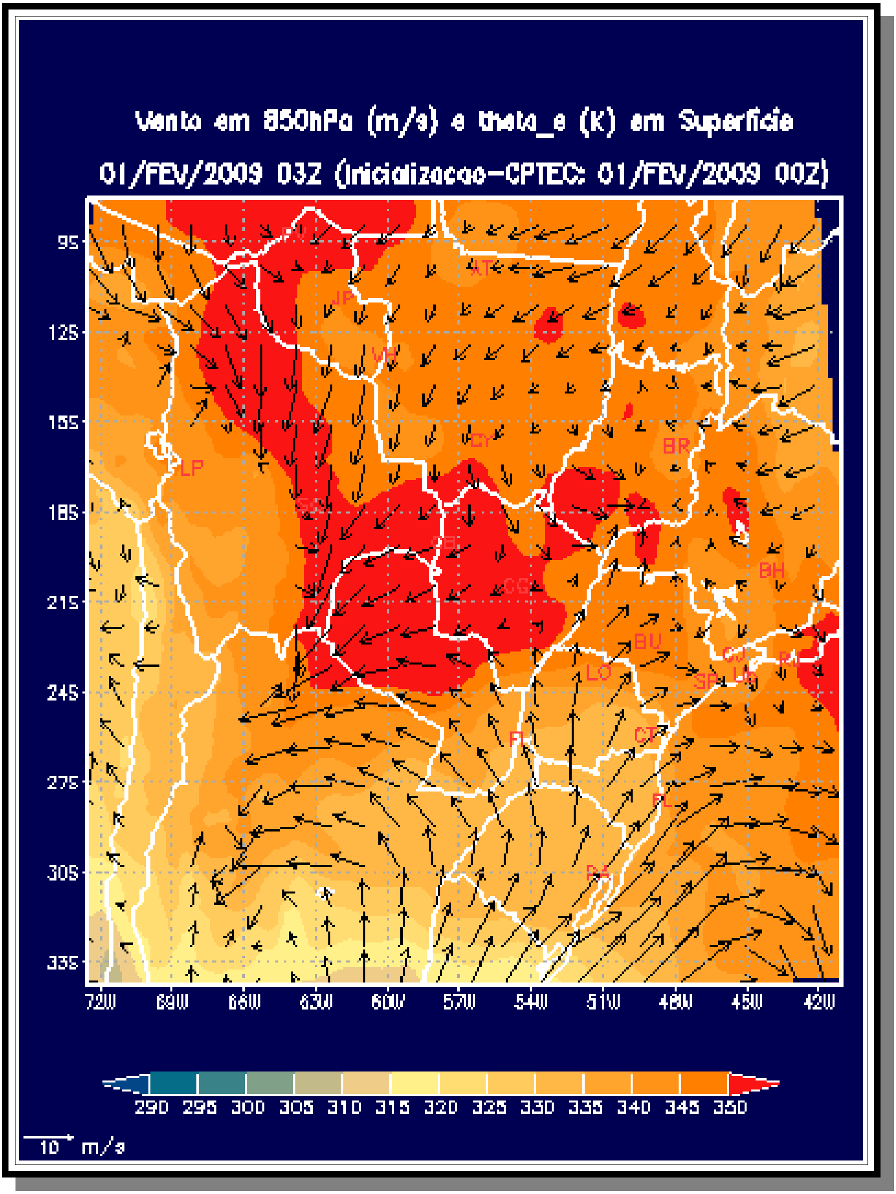
3.3.4 DISSEMINAÇÃO DOS POLUENTES CAUSADORES DAS PRECIPITAÇÕES ÁCIDAS

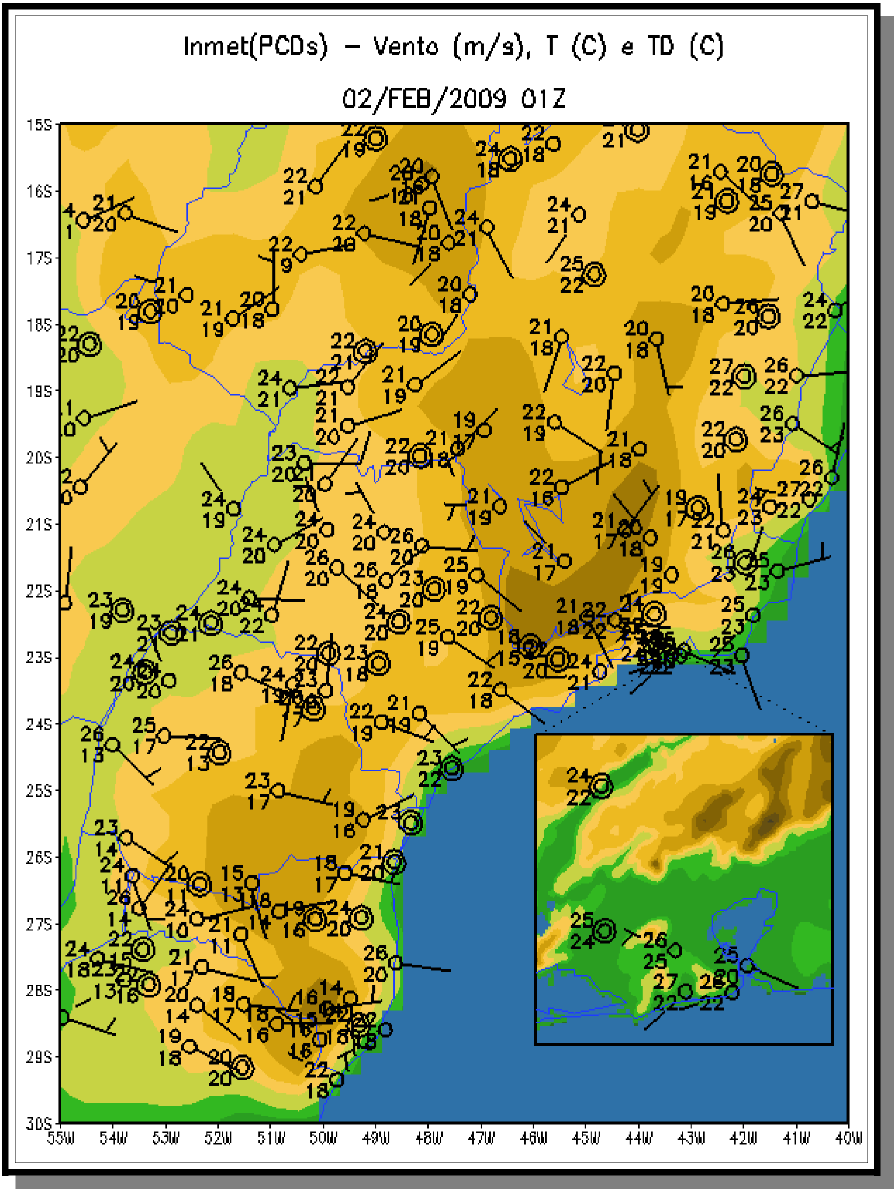
O estudo da disseminação de poluentes é bastante complexo, e o uso de monitoramento atmosférico por satélites é indispensável para a obtenção dos melhores resultados: veja nas Figuras 3-2

alguns exemplos de imagens importantes deste vasto campo de pesquisa, provenientes do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP), em São Paulo SP.

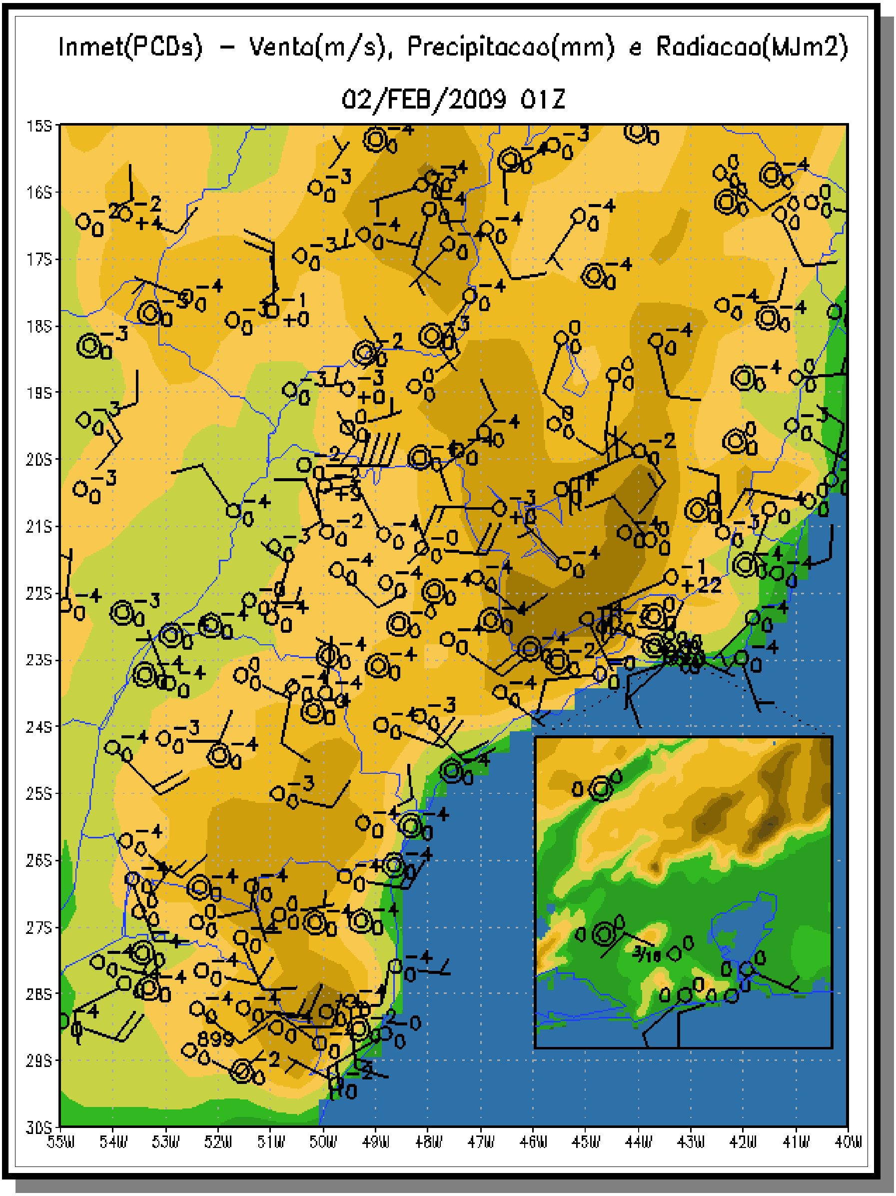


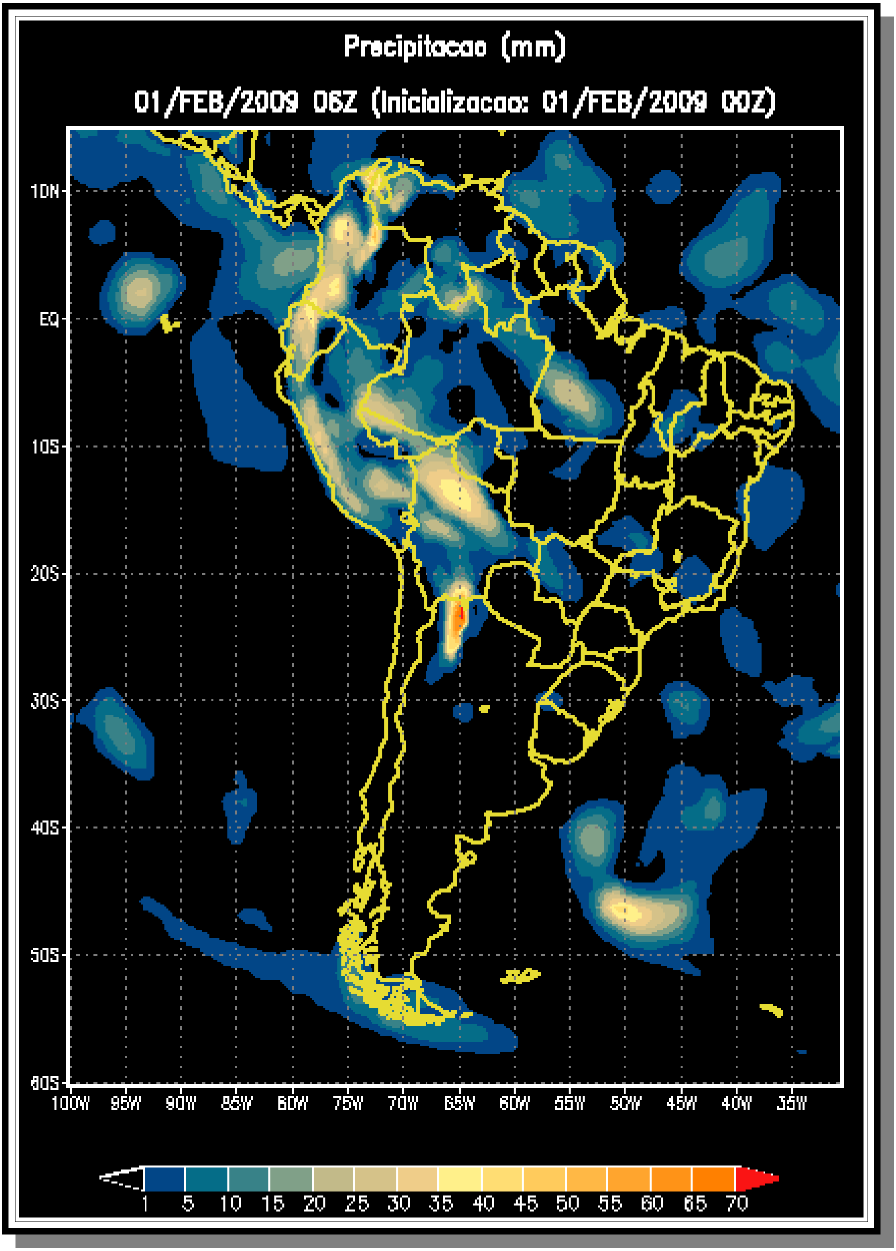

Vento em 850 mb e Geop. em 500 mb
01/FEB/2009 06Z (Inicializacao: 01/02/2009 00Z)
10N
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
35S
40S
45S
50S
55S
100W
95W
90W
85W
80W
75W
70W
65W
60W
55W
50W
45W
40W
35W
30W
5880
5820
5760
5700
5640
5580
5520
5460
5400
5280
20


Vento em 850hPa (m/s) e theta_e (K) em Superficie
01/FEV/2009 03Z (Inicializacao-CPTEC: 01/FEV/2009 00Z)
9S
12S
15S
18S
21S
24S
27S
30S
33S
72W
69W
66W
63W
60W
57W
54W
51W
48W
45W
42W
290
295
300
305
310
315
320
325
330
335
340
345
350
10 m/s


Inmet(PCDs) - Vento (m/s), T (C) e TD (C)
02/FEB/2009 01Z
15S
16S
17S
18S
19S
20S
21S
22S
23S
24S
25S
26S
27S
28S
29S
30S
55W 54W 53W 52W 51W 50W 49W 48W 47W 46W 45W 44W 43W 42W 41W 40W

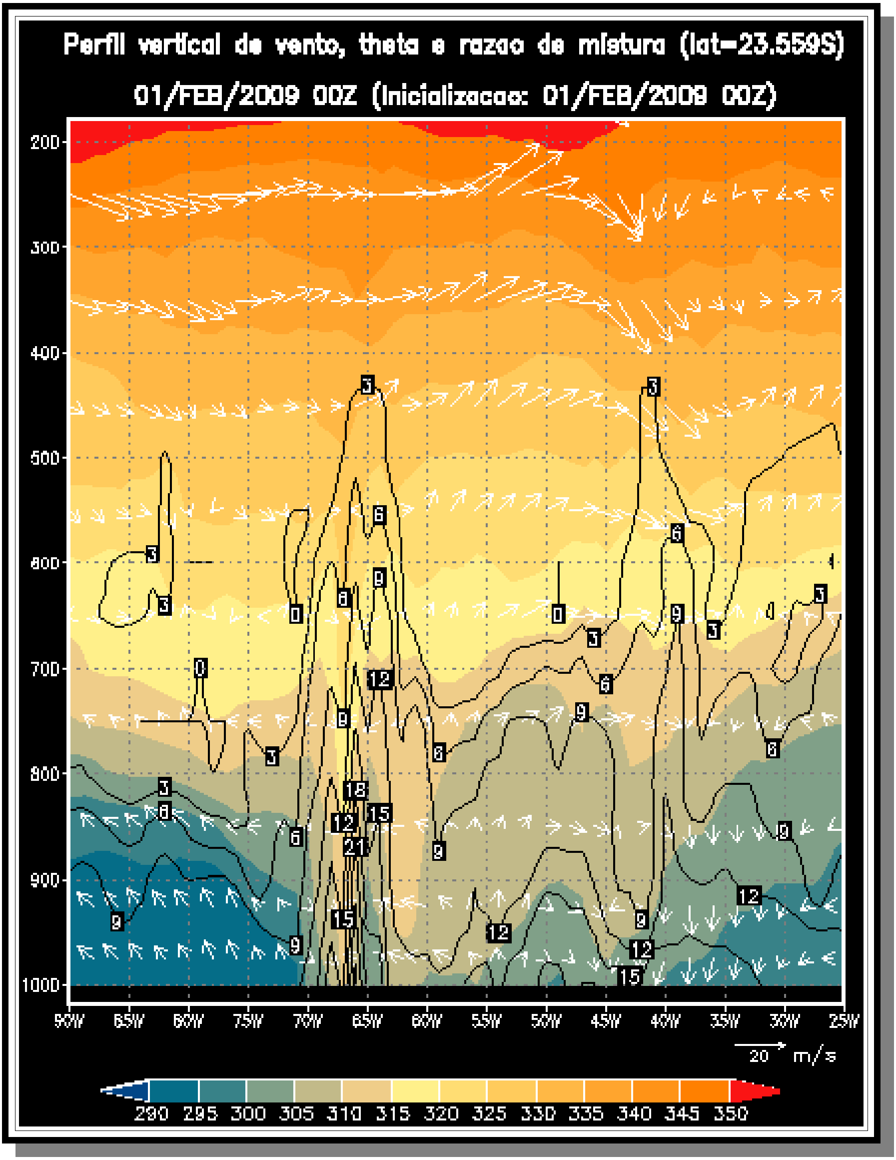
950


Inmet(PCDs) - Vento(m/s), Precipitacao(mm) e Radiacao(MJm2)
02/FEB/2009 01Z
15S
16S
17S
18S
19S
20S
21S
22S
23S
24S
25S
26S
27S
28S
29S
30S
55W
54W
53W
52W
51W
50W
49W
48W
47W
46W
45W
44W
43W
42W
41W
40W


Precipitacao (mm)
01/FEB/2009 06Z (Inicializacao: 01/FEB/2009 00Z)
10N
EQ
10S
20S
30S
40S
50S
60S
100W 95W 90W 85W 80W 75W 70W 65W 60W 55W 50W 45W 40W 35W
1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70



Div. umidade(somb)(1e-7) e Transp. umidade em sup.
01/FEB/2009 06Z (Inicializacao: 01/FEB/2009 00Z)
10N
EQ
10S
20S
30S
40S
50S
60S
100W 95W 90W 85W 80W 75W 70W 65W 60W 55W 50W 45W 40W 35W
10
−6 −5 −4 −3 −2 −1 1 2 3 4 5 6



Figuras 3-2. Exemplos de Imagens de Monitoramento Atmosférico por Satélites em 1/2/2009. (*Fonte: Brasil/USP*[2] *São Paulo/IAG, 2009]*

3.3.4.1 PRECIPITAÇÃO SECA LOCAL

Uma parte da poluição do ar imediatamente liberada por uma fonte emissora não vem a contribuir para a formação das precipitações ácidas. Denominamos de *precipitação seca* à parcela da poluição atmosférica, gerada por um veículo ou uma indústria, que não chega a interagir com o vapor d’água do ar, mas precipita-se geralmente nas proximidades do local onde foi produzida (Baines, 1993). Ocorre que estes depósitos de poluentes posteriormente são carreados pela água da chuva, e, de acordo com sua composição, poderão se converter em ácidos da mesma forma que se reagissem com o vapor d’água atmosférico.

3.3.4.2 O TRANSPORTE DE POLUENTES, PELOS VENTOS, A LONGAS DISTÂNCIAS

As chaminés de indústrias são normalmente construídas com grande altura para que a liberação da fumaça se dê à maior altitude possível, onde comumente verificam-se maiores velocidades de vento e, assim, obtenha-se maior dispersão dos poluentes. Leinz & Amaral (1989) citam um exemplo de que, à altura do solo, a velocidade do vento é de 13 km/h, a 3 m de altura o vento já corre a 30 km/h e, a 15 m, 34 km/h. Trata-se apenas de um exemplo genérico para

visualização do comportamento atmosférico comum, e os valores citados são totalmente variantes de acordo com o local pesquisado e suas condições climáticas. Leinz & Amaral (1989) também relatam que, geralmente, a velocidade do vento dobra entre as alturas de 0,5 a 10 m, e aumenta apenas 1,2 vezes de 10 a 100 m; até 30 m de altura, o aumento da velocidade do vento é muito grande; até 500 m de altura, a velocidade aumenta continuamente; de 500 m até 10.000 m a velocidade do vento diminui.

Entretanto, estas chaminés altas, infelizmente, acabam sendo as grandes vilãs que contribuem terrivelmente para que a chuva ácida se forme. Os poluentes liberados por essas chaminés são levados pelos ventos a até milhares de quilômetros de distância, podendo permanecer no ar por várias semanas. Assim, quanto mais tempo a poluição permanecer na atmosfera antes de se depositar, maior quantidade de reações entre os óxidos de enxofre e de nitrogênio com o vapor d’água atmosférico ocorrerá, originando os ácidos sulfúrico e nítrico diluídos, que são dois dos principais responsáveis pela chuva ácida.

Tão grave quanto isto é o coquetel de poluentes que pode permanecer em suspensão na atmosfera por longos períodos. Estas numerosas substâncias químicas reagem entre si, muitas vezes com

a participação da luz solar, gerando outras novas substâncias, frequentemente com sinergismo, em que os produtos químicos originados possuem efeitos danosos maiores ao meio ambiente do que cada substância possuiria originalmente isolada. Odum (1988) exemplifica um destes casos descrevendo a formação do *smog* fotoquímico, a partir de dois tipos de gases produzidos pelos automóveis (óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos) que se combinam na presença da luz solar:

ÓXIDOS DE NITROGÊNIO + **RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA LUZ SOLAR** + **HIDROCARBONETOS** → **NITRATO PEROXIACETÍLICO (PAN) E OZÔNIO (O_3)**

A fórmula química do nitrato peroxiacetílico é $CH_3C(O)OONO_2$ ou, mais simplesmente, $C_2H_3O_5N$, também denominado de PAN, abreviatura do inglês *peroxyacetylnitrate*. Odum relata que as duas substâncias originadas na equação acima, nitrato peroxiacetílico e ozônio, causam lacrimejamento e desconforto respiratório ao homem, sendo ao mesmo tempo extremamente tóxicas para as plantas: o ozônio aumenta a taxa de respiração nas folhas, o que faz com que todo o alimento armazenado seja consumido, culminando com a morte do vegetal, e o PAN bloqueia a "reação de Hill" na fotossíntese, morrendo então a planta pela cessação da produção de glicose.

Como foi dito, os poluentes podem permanecer na atmosfera até por longos períodos. Dessa forma, acabam sendo levados para regiões distantes, onde então ocorrerão as precipitações ácidas. Assim é que (Baines, 1993) metade do dióxido de enxofre precipitado no leste canadense é originado nas áreas industriais do nordeste dos Estados Unidos e trazido pelos ventos dominantes, que vêm do oeste; também, cerca de 3 milhões de toneladas de poluentes ácidos são levados por ano dos E.U.A. ao Canadá. A poluição gerada na Europa é lançada sobre os países escandinavos, sendo os principais emissores desses poluentes a Grã-Bretanha e as nações do leste europeu. A formação e disseminação da chuva ácida no Brasil será analisada no Capítulo 5.

Também pode ocorrer a emissão de gases já ácidos, que podem atacar o meio ambiente próximo ao local de sua geração, bem como serem levados para regiões distantes. Odum (1988) relata os danos causados por uma fundição de cobre em Copperhill, Tennessee (E.U.A.). O tipo de fundição ali usado consistia na queima lenta e contínua de ganga, madeira verde e coque, o que ocasionava a liberação de vapores ácidos. Como resultado, a maior parte do solo da região foi erodido, originando um deserto espetacular. Mesmo com a redução da emissão de vapores posteriormente pela mudança dos métodos de fundição, a vegetação

natural não se recuperou nas áreas mais gravemente erodidas, e nas áreas periféricas o restabelecimento da flora natural foi muito lento. Teve algum sucesso um reflorestamento artificial, empregando-se porém adubação maciça com minerais ou lodo de esgoto. Também conseguiram viver sem dependência de fertilizantes plântulas de pinheiro inoculadas com fungos simbióticos nas raízes que ajudam a árvore a extrair do solo empobrecido os nutrientes de que precisa. Ainda, os ventos provenientes da Bacia de Copperhill se dirigiam à Georgia, ali ocasionando intensa chuva ácida. Este último fato gerou anos de batalhas judiciais entre a Georgia e o Tennessee, quando finalmente a Corte Suprema dos Estados Unidos obrigou a companhia de cobre a modernizar seus métodos.

3.3.4.3 AEROSOL ÁCIDO

Denomina-se ***aerosol*** a dispersão de um líquido em partículas finíssimas num meio gasoso. Aerosol ácido é aquele constituído por líquidos ácidos, que podem ser fruto das reações químicas entre poluentes do ar ou da liberação direta à atmosfera de elementos ácidos.

O aerosol ácido pode afetar diretamente os ecossistemas ou contribuir na formação das precipitações ácidas.

Preocupações acerca dos efeitos ecológicos e sobre a saúde humana do aerosol ácido resultaram, nos anos 80, em numerosos estudos sobre a qualidade do ar (Hoek *et al.*, 1996). Assim, entre outros dados, temos números concretos sobre a contaminação atmosférica por aerosol ácido: foi relatada em 1989 a ocorrência de concentrações médias, em 12 h, acima de 40 $\mu g\ m^{-3}$ de aerosol ácido, expressas como equivalentes ao ácido sulfúrico, no nordeste dos Estados Unidos e Canadá (Lioy & Waldman, 1989 e EPA, 1989, *apud* Hoek *et al.*, 1996); entretanto, dispomos de muito menos informações sobre aerosol ácido em outras partes dos Estados Unidos e na Europa (Spengler *et al.*, 1989, apud Hoek *et al.*, 1996). Concentrações de poluentes ácidos gasosos tais como ácido nítrico (HNO_3), ácido nitroso (HONO) e ácido clorídrico (HCl) têm sido menos relatadas. Na Europa, concentrações de ácido nítrico são geralmente baixas (Kitto & Harrison, 1992; Pio *et al.*, 1991 *apud* Hoek *et al.*, 1996). Entretanto, em Los Angeles (E.U.A.) têm sido medidas altas concentrações de ácido nítrico: média, em 12 h, de 45 $\mu g\ m^{-3}$ (EPA, 1989; Wolf *et al.*, 1991 *apud* Hoek *et al.*, 1996).

A amônia (NH_3) é provavelmente o mais importante gás neutralizador do aerosol ácido, mas poucos estudos têm avaliado a sua concentração atmosférica (Lioy & Waldman, 1989; EPA, 1989 *apud*

Hoek *et al.*, 1996). Na Holanda, por exemplo, Hoek *et al.* (1996) observaram concentrações muito altas do gás amônia em fazendas de criação de animais, concentrações estas maiores que 10 μg m^{-3}. A amônia pode assim mascarar a magnitude das emissões de poluentes ácidos caso se façam levantamentos apenas das concentrações ácidas em determinada localidade.

3.3.4.4 GÁS AMÔNIA NEUTRALIZANDO EMISSÕES ÁCIDAS

A amônia (NH_3), à temperatura e pressão ambientes, é um gás incolor, inflamável, corrosivo na presença de umidade e altamente solúvel em água. A reação de NH_3 com água produz NH_4OH, hidróxido de amônio, também conhecido como amoníaco.

A amônia possui larga utilização industrial, conforme descrito a seguir:

- Sistemas de refrigeração industrial;
- Preparação de fertilizantes como sais de amônia, nitrato de amônia e ureia, bem como de fertilizantes contendo superfosfato e nitrogenantes que são soluções de amônia e nitrato de amônia;
- Neutralização de ácidos do óleo cru, pela indústria petroquímica, com o uso de amônia anidra, para evitar corrosão em diversos equipamentos desta

indústria;

- Indústria da borracha;
- Fabricação de têxteis;
- Fabricação de determinados tipos de corantes;
- Fabricação de cerâmicas;
- Extração de metais como níquel, molibdênio e cobre de seus minérios;
- Na fotografia;
- Indústria farmacêutica;
- Fabricação de ácido nítrico;
- Em pequenas quantidades, na preparação de misturas padrão para calibração e ajuste de instrumentos de medição para controle ambiental.

Gás amônia (NH_3) liberado em grande escala na atmosfera por atividades industriais pode neutralizar emissões de poluentes ácidos. Cape *et al.* (1998) realizaram experimentos que demonstraram que a deposição seca de SO_2 (dióxido de enxofre) é dependente da concentração ambiente de NH_3. Se as concentrações de NH_3 são reduzidas, pela restrição das emissões, então a taxa de remoção de SO_2 atmosférico de precipitação seca também será reduzida, e a proporção de SO_2 que é oxidado a partículas de sulfato (SO_4^{2-}) livres para transporte atmosférico a longas distâncias será incrementada, com todas as consequências para a formação das precipitações ácidas já descritas anteriormente.

Entretanto, longe de ser um bem por neutralizar emissões ácidas, o gás amônia é mais um poluente atmosférico com efeitos desastrosos sobre a saúde humana e todos os ecossistemas.

No ser humano, por ser muito solúvel em água, o NH_3 irrita inicialmente o tecido conjuntivo dos olhos e das vias respiratórias superiores (Fellenberg, 1980). Quando uma quantidade maior de NH_3 atinge as vias sangüíneas, a partir de absorção interna pelos pulmões, ocorrem lesões nas células nervosas e sangüíneas, sendo também isto causa de morte do homem e de animais.

Como no homem, os animais terrestres também tem suas membranas mucosas e vias respiratórias seriamente danificadas pelo gás amônia. Nos ecossistemas aquáticos, os peixes são organismos muito sensíveis à amônia, pois esta, solúvel em água, atinge diretamente suas guelras.

A amônia foi muito utilizada no passado como agente de refrigeração industrial e, após o início da década de 1930, perdeu espaço pela introdução dos CFCs como agentes refrigerantes. Entretanto, com o reconhecimento de que os CFCs atacam a camada de ozônio protetora da Terra contra a radiação ultravioleta, a amônia voltou a conquistar novos espaços de

mercado. De fato, atualmente, a amônia é muito utilizada em todos os sistemas de refrigeração alimentícia, como por exemplo: nos laticínios, na indústria do pescado, nos frigoríficos, nas fábricas de gelo, etc. A quantidade de amônia nos equipamentos de refrigeração pode ser muito grande, podendo variar de menos de 2.000 kg a mais de 100.000 kg! Conforme já relatado, pela sua grande toxicidade e por suas propriedades químicas e físicas, a amônia apresenta grandes perigos na sua utilização em equipamentos de refrigeração, e, infelizmente, não são raros, no Brasil e no mundo, acidentes com amônia nesses equipamentos, com vazamentos e explosões, prejudicando gravemente a saúde e mesmo causando a morte de muitos trabalhadores dessas indústrias. Muitas vezes, os sistemas de refrigeração apresentam instalações precárias, bem como inadequada manutenção.

3.3.5 LIGAÇÕES ENTRE CHUVA ÁCIDA E DANOS FLORESTAIS

3.3.5.1 A CONCENTRAÇÃO DE POLUIÇÃO EM AMBIENTES MONTANHOSOS NOS E.U.A.

Nos ambientes de alta elevação das Montanhas Apalaches (E.U.A.) onde o abeto vermelho e o abeto Fraser estão declinando, as concentrações de poluição do ar são altas, substancialmente maiores do

que nas elevações baixas adjacentes (MacKenzie & El-Ashry, 1989). Naquelas altitudes maiores, as concentrações médias de ozônio (poluente não ácido, mas que pode atuar em conjunto com as precipitações ácidas, como será descrito posteriormente) em 24 horas são duas vezes maiores do que nas elevações baixas vizinhas (NAPAP IV, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989), principalmente porque as concentrações de ozônio não caem à noite como acontece nas baixas elevações. A deposição ácida nas Montanhas Apalaches a partir da chuva, nuvens, neblina, e precipitação seca é também alta. As taxas anuais típicas de deposição de sulfato em baixas elevações no leste dos Estados Unidos são de 20 a 30 quilogramas por hectare (NAPAP III, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Em 1986, a deposição de sulfato sobre a Montanha Whitetop, Virginia (U.S.A.), de abril a dezembro foi de 200 a 400 quilogramas por hectare, cerca de dez vezes a taxa anual que ocorre às baixas elevações (Hertel, 1988 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Similarmente, a deposição anual de íons hidrogênio (H^+) — uma medida direta de acidez — em baixas elevações no leste dos Estados Unidos oscilou em 1987 de 0,3 a 0,6 quilogramas por hectare (NAPAP III, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). No Monte Mitchell (U.S.A.), a taxa anual de deposição de H^+ foi, em 1989, de 2 a 4,6 quilogramas por hectare, aproximadamente 10 vezes mais do que as taxas

verificadas nas baixas elevações (Saxena *et al.*, 1989 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Nas altas elevações, onde o dano é pior, árvores podem ser cobertas por elevada acidez através de nuvens e neblina, contendo estas também altas taxas de ozônio, por mais de 3.000 horas por ano.

3.3.5.2 OZÔNIO E PRECIPITAÇÕES ÁCIDAS ATUANDO JUNTOS

O ozônio (O_3) é um poluente não ácido, mas que pode provocar danos florestais sinergicamente aumentados quando atua em conjunto com as precipitações ácidas.

Sozinho, o ozônio danifica as membranas das paredes das células do mesófilo foliar que contém clorofila (NAPAP IV, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Neblina e nevoeiros encontrados em locais de alta elevação, como em cadeias montanhosas, facilitam a penetração do ozônio nos estômatos de folhas e acículas. Em estudos com pinheiros brancos do leste dos Estados Unidos, pesquisadores descobriram que o ozônio danifica as folhas aciculares e reduz o crescimento das árvores (EPA, 1986 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Para os pinheiros brancos sensíveis, a exposição crônica ao ozônio reduziu seu crescimento anual em mais de 70%. Ainda, para

diferentes espécies de coníferas e madeiras-de-lei, o crescimento na concentração de ozônio causa a redução da fotossíntese (Reich & Amundson, 1985 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Também, a concentração de ozônio no ambiente pode interferir com a resistência do abeto vermelho norte-americano, tornando-o então mais suscetível à morte no inverno, segundo pesquisas do Boyce Thompson Institute em Nova York (U.S.A.) (Weinstein, 1988 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989).

Agindo juntos, ozônio e precipitações ácidas, os prejuízos florestais são aumentados. Foram feitos experimentos onde folhas aciculares de coníferas foram expostas ao mesmo tempo a ozônio e precipitações ácidas simuladas. Quando árvores de abetos noruegueses de 5 anos de idade, na Alemanha, foram nebulizados duas vezes por semana ao nível de pH 3,5 ao mesmo tempo que ficaram sob exposição contínua a ozônio em concentração de 100 a 300 ppb, a taxa de perda de magnésio das folhas aciculares foi 20% maior do que com os controles expostos a ozônio em 100 ppb, e maior ainda quando considerados os experimentos à concentração de 300 ppb (Krause *et al.*, 1983 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Iguais ou maiores taxas de lixiviação foliar de potássio, cálcio, nitrato e sulfato foram observadas, levando os pesquisadores a concluir que a elevação dos níveis de

ozônio intensifica a perda de nutrientes das folhas aciculares quando neblina ácida está presente.

MacKenzie & El-Ashry (1989) relatam que, ocorrendo precipitações em níveis de pH de 3,0 e acima, ozônio e deposição ácida conjuntamente têm poucos efeitos diretos significativos a curto prazo sobre mudas de árvores. Contudo, abaixo do pH 3,0, a injúria foliar aparece e o crescimento diminui, particularmente nas raízes das mudas. Apenas a título de exemplo, vale dizer que durante 1986, notavelmente, o pH da água das nuvens que permearam as florestas de altas elevações do leste dos Estados Unidos atingiu valores de 2,2 no Monte Mitchell, 2,6 na Montanha Whitetop e 2,6 na Montanha Whiteface (Mohnen, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989).

4

EFEITOS DA CHUVA ÁCIDA SOBRE AS FLORESTAS

4.1 INTRODUÇÃO

As florestas estão permanentemente sujeitas a danos naturais constantes tais como seca, tempos extremos, calor ou frio fora das estações próprias, ventos fortes, doenças, insetos, etc., para os quais, ao mesmo tempo, já apresentam também adaptações que geralmente lhes permitem a sobrevivência. Somados a isto, todos os tipos de poluição do ar, bem como o uso de pesticidas e herbicidas, vêm também a promover-lhes danos e contribuir para que lhes ocorra estresse. Aqui, faz-se a tentativa de isolar os impactos gerados pela chuva ácida, não obstante a multiplicidade de outros poluentes e também de causas naturais que danificam as florestas.

Desde já é preciso esclarecer como frequentemente se dá a morte das árvores. Como foi dito, inúmeros fatores naturais podem ser causadores

de danos às árvores, para os quais agentes elas também já normalmente apresentam defesas e adaptações naturais próprias. Entretanto, todo tipo de poluição, assim como a chuva ácida, vem a causar um estresse adicional para o qual uma floresta não possui adaptações, o que pode fazer então com que as árvores sucumbam atacadas por insetos ou fungos (Baines, 1993), pestes oportunistas ou sob o rigor dos tempos extremos (Simon & DeFries, 1992).

Em certas florestas, as árvores tem idades que podem variar de 150 a 300 anos (ou muito mais). Espécimes maduras produzem muitas sementes durante longo período, e contribuem assim para a perpetuação da floresta. Entretanto, após o ataque das precipitações ácidas e outros poluentes, as árvores muito débeis ou que sucumbem deixam de produzir descendentes. Devido a isso, florestas maduras que levaram séculos para se formar tem o seu futuro comprometido por várias gerações subsequentes. Caso conseguíssemos paralisar a impactação ácida, centenas de anos seriam necessárias para que a floresta voltasse a ter toda a sua exuberância e esplendor originais.

Apesar da multiplicidade de poluentes impactando as florestas atualmente, sobretudo o ozônio, Baines (1993) isola quatro sintomas principais do ataque por chuva ácida em coníferas (modificado do texto original):

1.°) Diminuição da folhagem: como as coníferas apresentam folhas perenes é possível reconhecermos folhas com mais de sete anos numa árvore sadia; as árvores impactadas por chuva ácida perdem folhas mais rapidamente e sua aparência é bastante irregular. E em não coníferas, como árvores decíduas, as plantas atacadas desenvolvem menos folhagem no verão, sendo possível mesmo ver-se o céu através da árvore; no outono, época da queda foliar, as árvores impactadas pela chuva ácida perdem suas folhas antes do tempo normal;

2.°) Manchas amarelas: verifica-se a presença de manchas amarelas nas folhas de coníferas, causadas pelo dióxido de enxofre;

3.°) Maior produção de pinhas: quando perto da morte devido à impactação ácida, a conífera afetada gera um grande número de sementes (provavelmente devido a um desbalanceamento hormonal que orienta toda a energia restante da planta para a reprodução);

4.°) Morte das pontas: perda maior da folhagem no topo e nas pontas dos ramos, que são as partes mais expostas à chuva ácida.

As precipitações ácidas podem danificar as florestas de duas maneiras: indiretamente, através da

acidificação do solo, e diretamente, atuando sobre as próprias árvores e plantas, conforme descrito adiante.

4.2 IMPACTAÇÃO INDIRETA: OS EFEITOS SOBRE OS SOLOS

Chamamos de efeitos indiretos das precipitações ácidas sobre as florestas àqueles que não atuam diretamente sobre o vegetal em si, mas sim no meio em que a planta vive. Estes efeitos indiretos ocorrem no solo que, uma vez acidificado, tem suas características físico-químicas alteradas, dificultando o crescimento das plantas, diminuindo a disponibilidade de nutrientes aos vegetais e aumentando a quantidade de elementos tóxicos que podem ser absorvidos pelas plantas.

4.2.1 O PROCESSO DE ACIDIFICAÇÃO DOS SOLOS

Segundo Leinz & Amaral (1989), *"ao produto final do intemperismo das rochas dá-se o nome de solo, caso as condições físicas, químicas e biológicas permitam o desenvolvimento da vida vegetal junto a atividades de microrganismos em íntima associação com a vida de vegetais mais desenvolvidos*". Assim, por serem os solos originados da desagregação de rochas pelo intemperismo, o pH de

um determinado tipo de solo será consequência do tipo de rocha que o originou. Há rochas alcalinas, neutras e ácidas, que gerarão assim solos com diferentes valores de pH. Como exemplo, podemos citar os solos originados a partir de calcário, uma rocha alcalina, que gera solos igualmente alcalinos. Os solos alcalinos são, de modo geral, os mais favoráveis às plantas, e os solos ácidos são prejudiciais tanto aos vegetais como aos microrganismos que o habitam, podendo mesmo inviabilizar-se a vida num solo excessivamente ácido.

A chuva ácida que cai num solo alcalino pode ser neutralizada por este tipo de solo. Assim é que, frequentemente, podem-se encontrar áreas naturais que sofrem impacto de chuva ácida mas que ainda não apresentam danos. Obviamente, estes solos alcalinos possuem uma capacidade limite de manutenção do pH para as sucessivas chuvas ácidas que os atinjam. Isto ocorre porque, à medida que eles vão neutralizando os ácidos, vão se tornando também mais ácidos, e assim perdendo a sua capacidade de manter o pH original. Dessa forma, uma determinada área natural que receba frequentemente chuva ácida e que não tenha ainda apresentado danos, pode, de acordo com a quantidade de ácidos que já tenha recebido, estar no limite de manutenção de sua vida original total. Caso este limite seja ultrapassado, e ocorram prejuízos a esse determinado ecossistema, pode ocorrer: ou um novo

reequilíbrio posterior com a sustentação de um número menor de espécies que conseguiram sobreviver/adaptar-se ao novo ambiente estabelecido; ou, mesmo, a extinção de toda a vida local que não possuía adaptações para suportar os malefícios de um solo ácido.

Há solos que não possuem capacidade de neutralizar as precipitações ácidas que recebem, ou que possuem um limite muito curto de manutenção do pH a níveis toleráveis para o suporte da vida, como por exemplo os solos gerados a partir do granito, que é uma rocha ácida. Assim, os solos neutros ou levemente ácidos, de acordo com a quantidade de precipitação ácida que recebam, e de acordo também com suas capacidades limitadas de manutenção dos valores originais de pH, podem gerar rapidamente uma situação de estresse para os seres vivos que abrigam, podendo ocorrer uma seleção das espécies que conseguirão sobreviver, ou mesmo a destruição da biota que era sustentada por esse solo.

Grandes extensões de solos da América do Norte e da Europa Setentrional são sensíveis à deposição de ácidos. Simon & DeFries (1992) relatam ainda que, pior do que isso, mais áreas, e em quantidades maiores, tornaram-se mais vulneráveis do que se acreditava em 1982. São as seguintes estas áreas

nos Estados Unidos: no Nordeste, em Minnesota, Wisconsin, Norte de Michigan, partes do Sudeste e montanhas do Oeste; no Canadá o problema ocorre em províncias do Leste, e em grandes extensões de províncias do Oeste e Noroeste; igualmente, verifica-se estas sensibilidades à deposição de ácidos no Norte da Europa, e em imensas regiões da Ásia, África e América do Sul.

4.2.2 DIMINUIÇÃO DOS NUTRIENTES DISPONÍVEIS AOS VEGETAIS

Uma das consequências da deposição de ácidos no solo é a de que elementos nutrientes para as plantas, como potássio, magnésio e cálcio, presentes no solo, são deslocados pelo excesso de íons hidrogênio, tornando-se então indisponíveis para as plantas. Assim, não podendo mais absorver estes minerais nutritivos, os vegetais apresentam então atraso no seu crescimento (Simon & DeFries 1992).

Diversos macronutrientes são vitais à saúde e crescimentos das árvores, e conhecidos sintomas aparecem previsivelmente em sua ausência. Relataremos a seguir um pouco da importância de cada um destes três nutrientes chaves, magnésio, potássio e cálcio, deslocados pela chuva ácida (MacKenzie & El-Ashry, 1989):

Magnésio (Mg): O magnésio é um constituinte da clorofila, que converte dióxido de carbono em matéria orgânica. O magnésio é móvel nas árvores. Em coníferas, o magnésio das folhas aciculares mais antigas move-se para as novas folhas se há uma deficiência nos solos. As folhas aciculares antigas tornam-se então amarelas, condição denominada de clorose, e eventualmente morrem. Em resumo, a deficiência de magnésio resulta em perda de folhas aciculares a partir do exterior do tronco, e da base para o topo;

Potássio (K): O potássio é essencial ao crescimento da árvore. Sem ele, as raízes podem não abrir seus caminhos através do solo, nem pode o floema da árvore expandir-se como o crescimento radial externo. O potássio, como o magnésio, é altamente móvel, e sem suprimento suficiente a folhagem começa a amarelar, tanto quanto acontece quando há deficiência de magnésio;

Cálcio (Ca): O cálcio é essencial à formação das paredes celulares e ao crescimento radial e vertical das árvores. Pectato de cálcio forma as paredes celulares ativas do córtex das finas raízes através das quais os nutrientes inorgânicos e a água entram na árvore. O cálcio não é móvel e movimenta-se no novo crescimento do vegetal somente quando o suprimento

no solo é adequado. Quando a quantidade de cálcio no solo é insuficiente, o desenvolvimento da raiz é pobre, o crescimento é reduzido, e a folhagem é perdida a partir da copa para baixo e interiormente a partir do final dos galhos — opostamente ao padrão observado nas deficiências de magnésio e potássio.

4.2.3 DISPONIBILIZAÇÃO DE MINERAIS TÓXICOS AOS VEGETAIS

Minerais tóxicos ocorrem naturalmente no solo, mas em condições normais não representariam qualquer perigo para o ecossistema, devido estarem em um forma química não assimilável diretamente pelas plantas. Isto é devido à presença de muitas substâncias orgânicas no solo, as quais formam complexos químicos com os minerais ali presentes, tornando-os então indisponíveis aos vegetais. Um exemplo disto é o processo de **quelação** (do grego *khele*, com o sentido literal de pinça, agarrar), onde um determinado metal fica preso quimicamente entre outras moléculas, apresentado-se assim numa forma não tóxica e não absorvível pelos vegetais. A Figura 4-1 mostra a **quelação**, onde **duas moléculas de glicina** (aminoácido) **seguram** em "pinças de caranguejo" **um íon cobre**, através de **ligações covalentes (→)** e **ligações iônicas (+ –)**: assim, neste exemplo, o cobre, um metal tóxico, está numa forma química não

assimilável pelas plantas, não representando portanto qualquer perigo à comunidade ecológica.

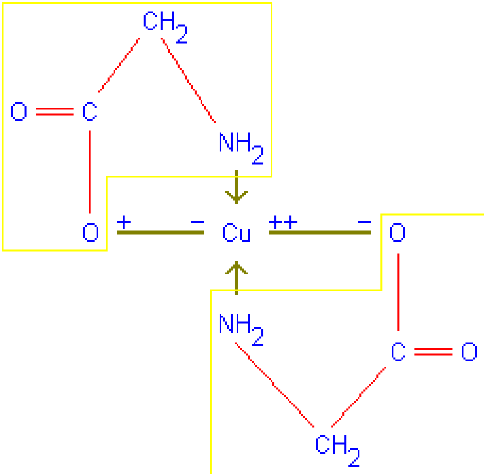


Figura 4-1. Exemplo do processo de quelação. Duas moléculas de glicina seguram em "pinças de caranguejo" o íon cobre, através de ligações covalentes (→) e ligações iônicas (+ –), tornando-o indisponível aos vegetais.

Entretanto, com a acidez do solo aumentada, elementos tóxicos ali presentes como alumínio, cobre, cádmio, vanádio, mercúrio e chumbo passam a ser absorvidos pelas plantas, devido à intensificação das reações químicas que permitem esta absorção. Além disto, estes minerais tóxicos podem estar presentes em maior quantidade do que o normal no solo, devido à

adição pela poluição. Estes elementos modificam processos normais de funcionamento e crescimento da planta. Há muito prejuízo para árvores e outras plantas, até mesmo se o contato for limitado. O alumínio, por exemplo, tóxico para os vegetais, traz dificuldades para as plantas na medida em que afeta a absorção de água e nutrientes pelas raízes (Simon & DeFries 1992). O alumínio foi reconhecido como a causa fisiológica do grande dano florestal nas Montanhas Vermont's Green em Camels Hump (E.U.A.), onde, desde 1965, 50% dos abetos vermelhos morreram, e o número de mudas de abeto declinou também ao menos 50% (Gould, 1985). Estudos demonstraram que as sementes dessas árvores possuem concentração de alumínio três vezes maior do que no ano de 1960.

Pesquisadores do *Oak Ridge National Laboratory* analisaram a parada no crescimento de árvores de pinheiro verificado nas Montanhas Great Smoky (E.U.A.) durante 20 a 25 anos (Gould, 1985). Durante essas mesmas duas décadas, as emissões regionais de SO_2 a partir da queima de combustíveis fósseis aumentou em cerca de 200%. O estudo feito chegou à conclusão de que o declínio do crescimento dos pinheiros foi paralelo ao aumento da concentração nessas árvores de alumínio, cádmio, cobre, zinco e outros metais potencialmente tóxicos às plantas. Estes metais, que já estavam naturalmente presentes no solo,

e também foram ali adicionados pela poluição da própria queima dos combustíveis fósseis, tornaram-se assimiláveis pelas plantas tão somente devido à acidificação do solo, conforme explicamos no segundo parágrafo deste item.

Pela impactação de poluição que aumenta a quantidade de minerais nocivos nos solos, verificou-se que colheitas de certas regiões da Polônia continham 10 vezes mais chumbo do que o limite tolerável (Baines, 1993).

Infelizmente, ainda, os minerais tóxicos absorvidos pelas plantas se transferirão posteriormente para os animais que as ingerirem (Baines, 1993) e, quanto mais alto o nível da cadeia alimentar, maior a concentração do elemento tóxico no organismo do animal. Caso estes elementos tóxicos venham a afetar o desempenho ou mesmo causar a morte de insetos ou animais, tarefas realizadas por estes seres, como polinização de flores e disseminação de sementes por exemplo, deixarão de ser realizadas, e o futuro da floresta estará comprometido a médio e longo prazo. Ainda, é preciso notar que o ser humano é considerado topo da cadeia alimentar e, ao ingerir a carne de animais que se alimentaram de plantas contaminadas com metais tóxicos, estará então absorvendo grande quantidade destes elementos tóxicos.

Os minerais tóxicos são também carregados pela chuva para rios e lagos, impactando assim gravemente a fauna e a flora destes ambientes.

4.2.4 EFEITOS SOBRE OS SOLOS DAS MONTANHAS

Os efeitos mais fortes sobre os solos ocorrem em regiões de terras altas, devido ao fato de serem relativamente mais delgados do que os das planícies e, portanto, muito mais sujeitos aos danos ácidos já citados (Simon & DeFries, 1992). Verifica-se ainda, nas montanhas, a presença constante de neblina e nuvens ácidas, que normalmente apresentam altas concentrações de ácidos, o quê, além de representar um ataque constante direto às próprias árvores e outras plantas, como será analisado mais adiante, significa também maior e permanente contaminação do solo pelos ácidos e outros poluentes. Devido a estes dois grandes ataques conjugados, ao solo e diretamente às próprias plantas, as florestas localizadas em regiões de terras altas são as que sofrem os efeitos mais fortes das precipitações ácidas.

4.2.5 SUPERFERTILIZAÇÃO DO SOLO POR NITRATO

As precipitações ácidas podem possuir altos

níveis de nitrato. Este nitrato em excesso pode superfertilizar o solo. Esta é uma das consequências, entre outras causadas pela impactação ácida, responsável pelo declínio da floresta de abetos nas Montanhas Vermont's Green em Camels Hump (E.U.A.) (Gould, 1985).

4.2.6 EFEITOS SOBRE A BIOTA DO SOLO DA FLORESTA

As precipitações ácidas também afetam adversamente todos os organismos localizados no assoalho da floresta.

Estudos em laboratório com a acidez do solo encontraram a inibição da fixação de nitrogênio no crescimento das algas (Gould, 1985).

Bactérias fixadoras de nitrogênio também são eliminadas pela chuva ácida, e com isto este importante componente da formação do húmus é comprometido (Humeres, 1992). O húmus é um agregado de microrganismos vivendo intimamente com minerais, fixando nutrientes e os disponibilizando continuamente para utilização pelos vegetais. O húmus é um componente universal dos ecossistemas, sendo que inexistem diferenças importantes físicas ou químicas entre as substâncias húmicas de ecossistemas terrestres

geograficamente distantes ou biologicamente diferentes. O húmus apresenta-se normalmente como uma substância escura, muitas vezes marrom--amarelada, amorfa ou coloidal, de caracterização química algo difícil. As substâncias húmicas são formadas quimicamente por condensações de compostos aromáticos (fenóis) em combinação com produtos resultantes da decomposição de proteínas e polissacarídeos (Odum, 1988). Ainda, conforme explicado no item 4.2.2, elementos nutrientes presentes no húmus como cálcio, magnésio e potássio também são deslocados pela chuva ácida e ficam impedidos de serem absorvidos e aproveitados pelos vegetais.

A deposição ácida também extermina microrganismos do solo que vivem em associação simbiótica com as raízes. É o caso das micorrizas, que são fungos que interagem com o tecido radicular da planta. Estes fungos não devem ser confundidos com os fungos parasitas que matam as raízes. As micorrizas, ao contrário, conseguem metabolizar fósforo e outros minerais insolúveis (ou “não-disponíveis” à raiz) através do processo químico da quelação (explicada no item 4.2.3), transformando então estes minerais em formas que podem ser absorvidas pelas raízes. Odum (1988) relata que muitas árvores não crescem sem micorrizas. Árvores de floresta transplantadas para solos de regiões diferentes muitas vezes não

conseguem crescer a menos que sejam inoculadas com fungos simbióticos. Daí se podem deduzir as consequências das precipitações ácidas ao causar a morte destes fungos. É importante lembrar que estas micorrizas são importantes ferramentas para o reflorestamento em áreas de solos pobres, como os excelentes resultados obtidos com pinheiros em Copperhill (E.U.A.), problema relatado no último parágrafo do item 3.3.4.2.

Odum (1988) relata que existem muitos estudos que mostram que os fagótrofos, especialmente os pequenos animais como protozoários, ácaros do solo, colêmbolos, nematodos, ostracodos, gastrópodes, etc., são muito importantes para a decomposição de matéria vegetal, sem os quais esta se torna muito mais lenta. Este benefício é obtido por três ações destes detritívoros: ao repartirem em detritos menores o material a ser decomposto, tornam disponível uma área maior para a decomposição microbiana que virá a seguir; acrescentam proteínas ou substâncias de crescimento (normalmente nas suas excreções) que estimulam o crescimento microbiano, e; por ingerirem algumas das bactérias e fungos, terminam por estimular o aumento das populações microbianas, bem como a sua atividade metabólica. Obviamente, se a impactação ácida destruir estes organismos, a decomposição da serrapilheira florestal estará seriamente comprometida.

No assoalho da floresta também estão os microrganismos que fazem a decomposição de todo o material orgânico da floresta, quer este seja de origem vegetal ou animal. Estes microrganismos desempenham papel fundamental na reciclagem de nutrientes, e podem ser eliminados pela chuva ácida. Com a morte destes seres, não só a decomposição da matéria orgânica florestal cessará, mas junto com ela também deixará de ocorrer a reciclagem dos nutrientes, atividade fundamental para a manutenção de toda a vida da floresta.

4.2.6.1 EFEITOS SOBRE PATÓGENOS VEGETAIS

A chuva ácida torna algumas plantas mais suscetíveis a patógenos como fungos, talvez pelo dano que faz à cutícula ou outras superfícies de proteção que a planta possui.

O inverso do descrito no parágrafo anterior também ocorre, e algumas plantas podem ser beneficiadas, pois a acidez da precipitação também pode eliminar patógenos específicos que atacariam apenas determinadas espécies de plantas; entretanto, ainda que a um olhar descuidado isto pareça bom, na verdade não o é, pois fica então quebrado o equilíbrio original do ecossistema, multiplicando-se espécies que

deveriam ter menor número total na floresta, impedindo assim o crescimento de outras que tem um papel específico a desempenhar dentro da comunidade.

4.3 IMPACTAÇÃO DIRETA: OS EFEITOS SOBRE AS ÁRVORES E PLANTAS

Os efeitos diretos das precipitações ácidas sobre as florestas são aqueles que provocam alterações nas próprias plantas. Estes efeitos diretos incluem mudanças na morfologia da superfície foliar, lixiviação do nutriente foliar, absorção adicional de enxofre (S) e ou nitrogênio (N) e mudanças nas funções metabólicas e nos processos reprodutivos (Heck *et al.*, 1984 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989).

4.3.1 EFEITOS SOBRE A FOLHAGEM DOS VEGETAIS

As precipitações ácidas danificam as folhas de árvores e plantas. A folha é a sede da produção de energia de todos os vegetais, onde se realiza o processo da fotossíntese. A energia obtida deste processo servirá para a realização e manutenção de todos os processos vitais de árvores e plantas. Daí concluímos que, se as folhas não puderem realizar eficientemente sua função primordial de produção energética ou, mesmo, ficarem impedidas de realizar esta tarefa, a vida do vegetal estará comprometida.

Na maioria dos experimentos sobre impactação ácida em florestas, coníferas jovens e mudas de decíduas são expostas, por períodos variando de semanas a 30 meses, à simulação de precipitação ácida de vários tipos e quantidades. Em experimentos com abeto vermelho, cientistas do *Boyce Thompson Institute* expuseram mudas separadamente a vapores de ácido nítrico, ácido sulfúrico, e uma mistura dos dois ácidos, a uma gama de pH variando de 2,5 a 4,5 (Jacobson & Lassoie, 1989 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Foram observados significativos danos foliares (20%) somente a partir dos vapores de ácido sulfúrico e quando o pH aplicado era igual ou menor a 2,6. À medida que as gotinhas ácidas secam sobre as superfícies foliares, o pH decresce substancialmente (no caso para um valor de 1,6), o que levou os pesquisadores a concluir que a deposição ácida pode ser importante quando a evaporação segue secando a superfície foliar após a chuva.

Uma das maneiras pelas quais ocorre dano foliar se dá pela ação dos ácidos que dissolvem e removem a camada de cera cuticular que protege a folha. A perda desta cobertura de cera danifica a folha, surgindo então manchas de cor acastanhada. O resultado final deste processo é a queda da folha. Privadas de suas folhas, árvores e outras plantas acabam sucumbindo pela própria falta de energia, ou

pelo ataque de insetos, fungos e pragas oportunistas, ou sob o rigor dos tempos.

Neblina e nuvens ácidas normalmente apresentam uma maior concentração de ácidos do que a chuva ácida. A água das nuvens carregadas com poluentes químicos apresenta concentrações iônicas que tipicamente são de 3 a 10 vezes maiores do que a chuva ácida (Warneck, 1988; Irvinging, 1991 *apud* Clark *et al.*, 1998). Além disto, sobretudo em regiões elevadas, comumente neblina e nuvens ácidas ficam por grandes períodos de tempo permeando toda a floresta, quando não em tempo integral. Isto faz com que todas as folhas de plantas e árvores fiquem como que se "banhando" nos ácidos vaporizados, e a remoção da proteção de cera das folhas é muito intensa e grave.

Experimentos no Monte Mitchell (U.S.A.) mostraram que pancadas de chuva ácida lixiviam os nutrientes das folhas aciculares de coníferas (MacKenzie & El-Ashry, 1989). Nestes experimentos, foram comparadas entre si as composições químicas da água da chuva livre (*rainfall*), da água que gotejava após atingir as acículas (*throughfall*) e ainda da água que percorreu o tronco (*stemflow*). O resultado destas análises químicas mostrou concentrações mais altas de magnésio, cálcio, potássio e sódio na *throughfall* e na

stemflow do que na água da chuva livre. Estes achados foram atribuídos à lixiviação dos nutrientes foliares das acículas. Foram encontrados ainda níveis elevados de sulfato e nitrato na *throughfall* e na *stemflow*. Os pesquisadores também encontraram que essencialmente todos os íons hidrogênio (H^+) que chegaram ao chão da floresta vieram diretamente da água de chuva que não tocou as árvores. Desta forma, os ácidos que tocaram as folhas aciculares foram neutralizados: o hidrogênio a partir da chuva foi trocado com os cátions positivos (magnésio, cálcio, potássio e sódio) das acículas.

Este último fato também mostra que uma floresta muito densa em folhagem pode mesmo estar neutralizando parte da precipitação ácida que receba às custas dos prejuízos foliares já citados, podendo nos enganar quanto ao nível de impactação ácida que ocorre nessa floresta caso as medições se restrinjam apenas aos níveis de pH do solo.

Em um estudo dos efeitos dos vapores ácidos sobre a estrutura da célula foliar de mudas de álamos de tulipas, um significante colapso de células foi observado ao pH 2,6 (NAPAP IV, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989).

4.3.2 EFEITOS SOBRE OS CAULES

Estudos mostraram que, em níveis de pH de 2,6, coníferas e madeiras-de-lei perderam biomassa constituinte de toda a planta acima da terra, ou seja, no tronco e nos ramos (NAPAP IV, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989).

Há suspeitas levantadas pelo Dr. Orie Loucks (*apud* Gould, 1985), diretor do *Holcombe Research Institute* na Universidade Butler em Indianapolis (E.U.A.) de que sulfato ácido presente no ar em combinação com a poluição por ozônio foram os maiores fatores responsáveis pelo dano ocorrido nas diversas espécies de árvores do Vale Ohio no meio--oeste norte-americano. Entre os prejuízos florestais verificados, o Dr. Loucks assinala um “incomum estreitamento grave dos anéis das árvores nestas áreas que começou na metade de 1960”. O Dr. Loucks também verificou a ocorrência de descoloração foliar no pinheiro branco, álamo, sicômoro, bordo e outras árvores nas cidades do Vale Ohio, além de um incomum grau de mortalidade desses vegetais.

4.3.3 EFEITOS SOBRE AS RAÍZES

Experimentalmente, precipitação ácida com valores de pH variando de 2,0 a 4,7 foram aplicados ao pinheiro jack, e o peso de suas raízes decresceu à medida que a acidez aumentou (NAPAP IV, 1987 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989).

Em solos tratados com ácidos fortes, ocorre a lixiviação dos nutrientes e a acelerada mobilização de alumínio, enquanto diminui a velocidade de decomposição da matéria orgânica, o que retarda a reciclagem de nutrientes. O alumínio trocável (íons de alumínio Al^{+++} que não estão confinados no interior de rochas) pode danificar as finas raízes de árvores em solos onde se encontram altas taxas de alumínio em relação ao cálcio ou ao magnésio (Huettl, 1989 *apud* MacKenzie & El-Ashry, 1989). Elevadas concentrações de alumínio podem bloquear a absorção de cálcio e magnésio pela raiz, levando toda a planta a ficar com deficiência de nutrientes. O excesso de alumínio pode também prejudicar o transporte de água dentro da árvore, aumentando a sua sensibilidade à seca.

Como já foi dito, a acidificação do solo torna indisponível para a planta nutrientes como potássio e cálcio. Então, não podendo absorver o potássio, as raízes podem não ser capazes de abrir seus caminhos através do solo. Já o suprimento inadequado de cálcio ocasiona um desenvolvimento pobre das raízes.

4.3.4 EFEITOS SOBRE A REPRODUÇÃO DOS VEGETAIS

Experimentos laboratoriais com simulação de

chuva ácida demonstraram a inibição da fertilização em samambaias (Gould, 1985).

Conforme já explicado no item 4.1, verifica-se uma maior produção de pinhas em coníferas perto da morte após impactação ácida. É de se esperar que outras árvores e plantas possam apresentar quadros semelhantes.

5

A CHUVA ÁCIDA NO BRASIL

5.1 ENERGIA ELÉTRICA

A geração de energia elétrica num país é um dos principais itens a serem analisados para quantificarmos e qualificarmos a produção de poluentes, uma vez que indústria e residências dependem do consumo de eletricidade. A Figura 5-1 demonstra que a geração de energia elétrica no Brasil em 2007 foi bastante "limpa" em relação a poluentes, pois sua maior parte proveio de centrais hidrelétricas (72,6% de centrais que produzem mais de 30 MW e 1,7% de centrais que produzem menos de 30 MW), o que foi um dado excelente para evitar a formação de chuva ácida; entretanto, é preciso não esquecer que a construção de usinas hidrelétricas causa grave impacto ambiental, eliminando fauna e flora em seu local de instalação pela inundação da área utilizada. A geração de eletricidade a partir de usinas nucleares representou 2,5% do total: é preciso lembrar que, embora não cause chuva ácida, o uso de elementos radioativos para a

geração de energia é extremamente perigoso para o homem e o lixo nuclear produzido possui destinação final difícil e muito perigosa para a humanidade e para o meio ambiente. As termelétricas representaram 14,7% da oferta interna de energia, e, as que produziram eletricidade a partir de geradores movidos a gás natural, álcool, gasolina, óleo diesel ou carvão foram causadoras de chuva ácida.

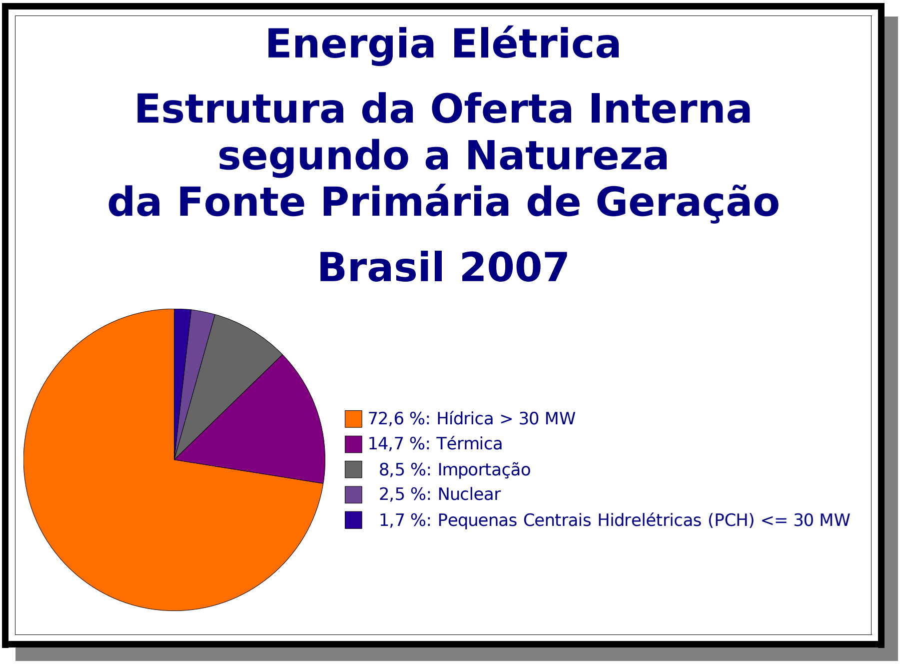


Figura 5-1. Energia Elétrica. Estrutura da Oferta Interna segundo a Fonte da Natureza Primária de Geração. Brasil 2007. ***(Fonte: Brasil/MME/EPE, página 13 do documento original, Gráfico 1 modificado, 2008)***

Em Santa Catarina, na cidade de Imbituba, está localizada a maior usina termelétrica da América Latina: Jorge Lacerda. Esta usina gera energia elétrica a partir da queima de carvão, sendo uma das poucas deste tipo no Brasil. A usina de Jorge Lacerda utiliza carvão com um teor de enxofre que varia de 2,5 a 3%. Humeres (1992) relata que em 1986 esta usina consumiu 1.900.000 toneladas de carvão, e lançou à atmosfera a quantia impressionante de 300 toneladas por dia de SO^2! Isto equivaleria a um depósito de 10 g de SO^2 por m^2 sobre 11.300 km^2 ou cerca de 14% da área total do estado de Santa Catarina. Em 1977 a rede hidrográfica local ficou inteiramente comprometida, com os rios apresentando valores de pH entre 2 e 3. Além da termelétrica de Jorge Lacerda, contribuíram para este quadro a fábrica de ácido sulfúrico local, depósitos de rejeitos e pirita, as indústrias que produzem coque, e os pré-lavadores (responsáveis pela primeira fase da eliminação da pirita à saída da mina). Todos estes dados citados são de Humeres (1992), que também relata que em 1982 a região sul de Santa Catarina foi declarada "área crítica" para efeito de controle de poluição. Atualmente (2009), o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda possui capacidade instalada de produção de energia elétrica de 857 MW.

A utilização de termelétricas movidas a geradores alimentados por combustíveis é muito ruim

para o meio ambiente e para a saúde humana. Conforme já explicado neste livro, a queima de combustíveis fósseis gera poluentes que são os principais causadores da chuva ácida; mesmo as queimas de gás natural e de álcool, que são ótimos combustíveis em termos ambientais por não liberarem SO_2, geram, entretanto, óxidos de nitrogênio (NO_X), de forma que, mesmo o uso destes combustíveis "limpos" para produção de energia elétrica também colabora para a formação de chuva ácida. Felizmente, conforme se vê na Tabela 5-1, houve queda de 8,8% na energia gerada por termelétricas de 2006 a 2007.

	Unidade	2006	2007	% 07 / 06
Oferta Interna de Energia Elétrica - OIEE	TWh	460,5	483,4	5,0
Geração de Energia Elétrica (1)	TWh	419,3	444,6	6,0
Centrais Elétricas de Serviço Público	TWh	377,6	397,4	5,2
Centrais Hidroelétricas	TWh	335,8	359,3	7,0
Centrais Termoelétricas (2)	TWh	41,9	38,2	-8,8
Centrais de Fonte Nuclear	TWh	13,8	12,3	-10,2
Centrais a Gás Natural	TWh	13,0	10,6	-18,6
Centrais a Carvão Mineral	TWh	6,5	5,8	-10,7
Centrais Elétricas Autoprodutoras	TWh	41,7	47,1	13,1
Importação Líquida	TWh	41,4	40,9	-1,4
Consumo Final	TWh	390,0	412,1	5,7
Consumo Residencial	TWh	85,8	90,9	5,9
Consumo Comercial	TWh	55,2	58,5	6,0
Consumo Industrial	TWh	183,4	192,6	5,0
Consumo em Outros Setores	TWh	65,5	70,1	7,0
Perdas sobre a OIEE	%	15,3	14,7	-3,7
Capacidade Instalada das Centrais de Geração de Energia Elétrica	GW	96,6	100,4	3,9

(1) Centrais Elétricas de Serviço Público e Autoprodutoras.
(2) Centrais Termoelétricas inclui centrais termoelétricas a partir da fonte nuclear.

Tabela 5-1. Energia Elétrica. Oferta Interna, Geração, Importação Líquida, Consumo e

Capacidade Instalada. Brasil 2006 e 2007. *(Fonte: Brasil/MME/EPE, página 13 do documento original, Tabela 2 modificada, 2008)*

A Tabela 5-1 complementa os dados apresentados pela Figura 5-1, trazendo números concretos da geração e consumo de energia no Brasil em 2006 e 2007, fazendo ainda uma comparação da evolução de cada item nesses dois anos. A unidade TWh significa Terawatt-hora, ou seja, representa 10^{12} ou 1 trilhão de watts por hora e GW significa Gigawatt, ou seja, representa 10^{9} ou 1 bilhão de watts (veja também as Tabelas 5-3 e 5-4). Os dados desta tabela são importantíssimos para se deduzir os diversos tipos e quantidades de poluentes produzidos de acordo com as naturezas das fontes geradoras de energia elétrica, bem como para se traçar políticas futuras de diminuição da poluição ambiental ao se fazer as melhores opções de utilização pelas fontes geradoras mais “limpas” (que produzem menos poluentes) e pela determinação da economia de energia elétrica a ser realizada pelos consumidores (menos energia consumida significa menos poluição).

5.2 FONTES DE ENERGIA

Outro item que devemos analisar para identificação da geração de poluentes é o da natureza das fontes de energia utilizadas por um país. A energia

a que nos referimos aqui é a utilizada por automóveis, ônibus, caminhões, máquinas industriais, pelos setores agrícolas e pecuários, pelo extrativismo mineral e seu processamento, por usinas siderúrgicas, indústrias químicas, indústrias de alimentos, indústrias de papel e celulose, pelo setor de serviços comerciais, pela indústria manufatureira, pelas residências, etc.

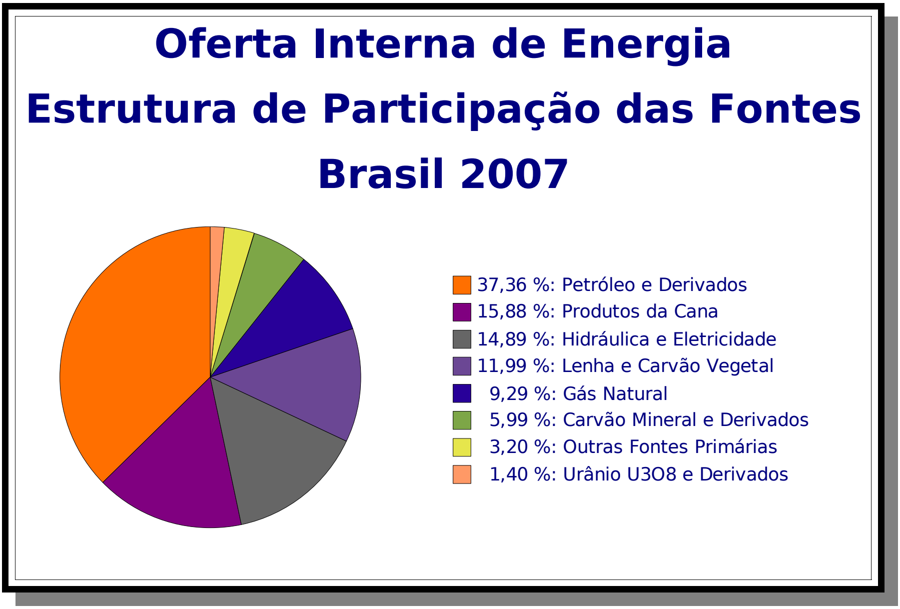


Figura 5-2. Oferta Interna de Energia. Estrutura de Participação das Fontes. Brasil 2007. ***(Fonte: Brasil/ MME/EPE, página 20 do documento original, Gráfico 7 modificado, 2008)***

A Figura 5-2 demonstra que a maior parte da oferta energética brasileira em 2007 proveio do

petróleo e seus derivados (37,36%), que são importantes causadores de chuva ácida. O uso de carvão, que costuma possuir teores consideráveis de enxofre, também contribuiu para a ocorrência de chuva ácida. Toda produção de energia a partir da combustão de quaisquer elementos também gera poluentes que acarretam chuva ácida e, por isto, os itens da Figura 5-2 que realizaram a queima de materiais combustíveis ocasionaram chuva ácida.

	Unidade	2006	2007	% 07 / 06
Consumo Final Total	10^6 tep	202,9	215,6	6,2
Serviços (Comercial + Público + Transportes)	10^6 tep	62,4	67,1	7,6
Transporte Ciclo Otto	10^3 bep/d	440,8	484,9	10,0
Residencial	10^6 tep	22,1	22,3	0,8
Agropecuário	10^6 tep	8,6	9,1	6,0
Setor Energético	10^6 tep	18,8	21,0	11,8
Industrial Total	10^6 tep	76,8	81,9	6,7
Cimento	10^6 tep	3,1	3,4	9,3
Ferro-Gusa e Aço	10^6 tep	17,0	18,2	7,4
Ferroligas	10^6 tep	1,6	1,8	11,8
Não-Ferrosos	10^6 tep	5,7	6,0	5,1
Química	10^6 tep	7,4	7,7	4,8
Alimentos e Bebidas	10^6 tep	20,1	21,3	5,7
Papel e Celulose	10^6 tep	8,0	8,6	6,7
Outras Indústrias Não-Especificadas	10^6 tep	13,9	15,0	8,0

Tabela 5-2. Consumo Final de Energia. Variação do Consumo de Energia dos Setores. Brasil 2006 e 2007. ***(Fonte: Brasil/MME/EPE, página 22 do documento original, Tabela 8 modificada, 2008)***

A Tabela 5-2 complementa os dados apresentados pela Figura 5-2, detalhando a quantidade de energia consumida pelos diversos setores brasileiros

em 2006 e 2007, fazendo ainda uma comparação da evolução de cada item nesses dois anos. A unidade tep é abreviatura da expressão “tonelada equivalente de petróleo” e 10^6 tep representa 1 milhão de teps; já a unidade bep/d é abreviatura da expressão “barril equivalente de petróleo por dia” e 10^3 bep/d representa mil beps por dia (veja também as Tabelas 5-3 e 5-4).

(k) kilo = 10^3	1 tep ano = 7,2 bep ano	1 m^3 de petróleo = 0,872 t (em 1994)
(M) mega = 10^6	1 bep ano = 0,14 tep ano	1 m^3 = 6,28981 barris
(G) giga = 10^9	1 tep ano = 0,02 bep dia	1 barril = 0,158987 m^3
(T) tera = 10^{12}	1 bep dia = 50 tep ano	1 joule = 0,239 cal
(P) peta = 10^{15}		1 Btu = 252 cal
(E) exa = 10^{18}		1 tep = 10.000 Mcal

Tabela 5-3. Relações entre Unidades. ***(Fonte: Brasil/MME/EPE, página 160 do documento original, Tabela IX.1 modificada, 2008)***

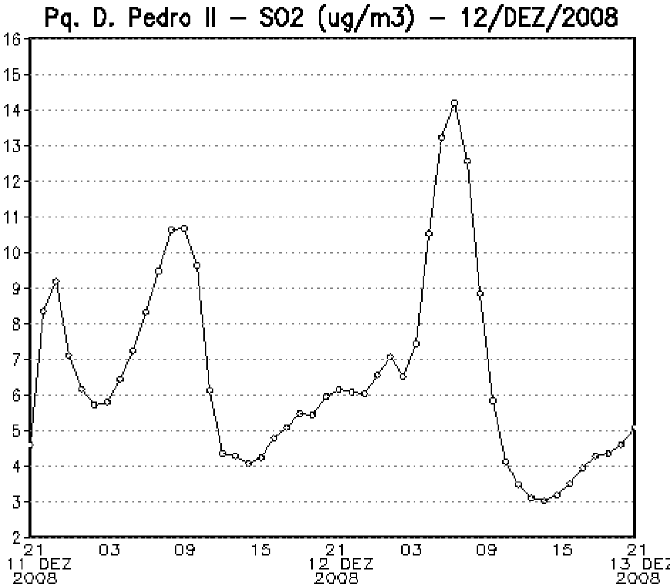
	J	Btu	cal	kWh
Joule (J)	**1**	947,8 x 10^{-6}	0,238.84	277,7 x 10^{-9}
Britsh Thermal Unit (Btu)	1,055 x 10^3	**1**	252	293,07 x 10^{-6}
Caloria (cal)	4,186.8	3,968 x 10^{-3}	**1**	1,163 x 10^{-6}
Quilowatt-hora (kWh)	3,6 x 10^6	3.412	860 x 10^3	**1**
Ton. equiv. de petróleo (tep)	41,87 x 10^9	39,68 x 10^6	10 x 10^9	11,63 x 10^3
Barril equiv. de petróleo (bep)	5,95 x 10^9	5,63 x 10^6	1,42 x 10^9	1,65 x 10^3

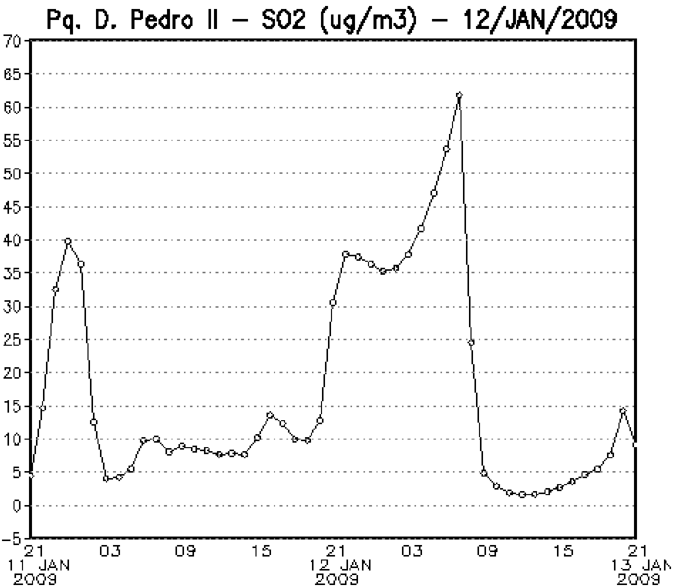
Tabela 5-4. Fatores de Conversão para Energia. ***(Fonte: Brasil/MME/EPE, página 161 do documento original, Tabela IX.5 modificada, 2008)***

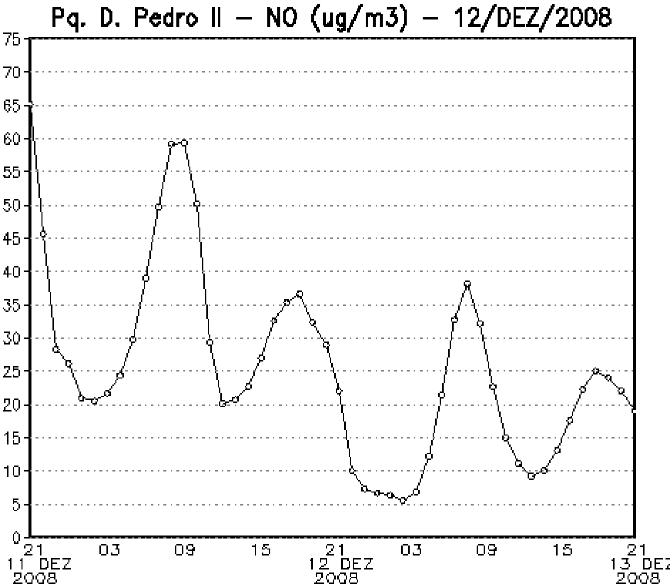
5.3 EXEMPLOS DE AVALIAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES CAUSADORES DE CHUVA ÁCIDA

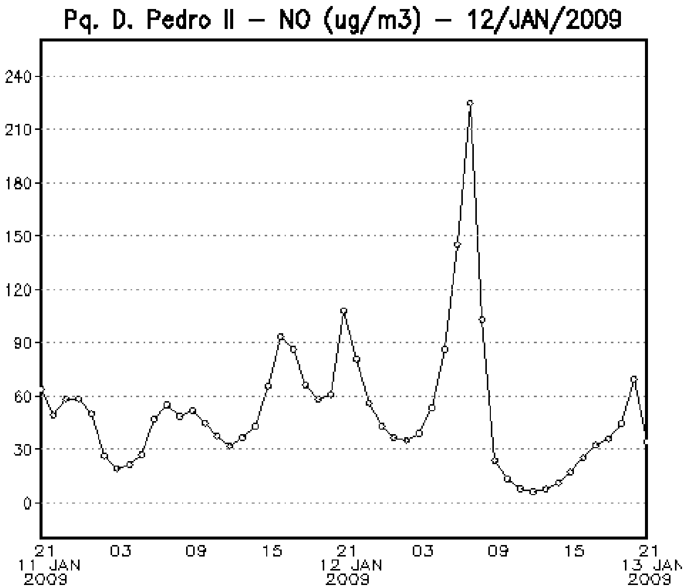
5.3.1 O PARQUE DOM PEDRO II NA CIDADE DE SÃO PAULO (SP)

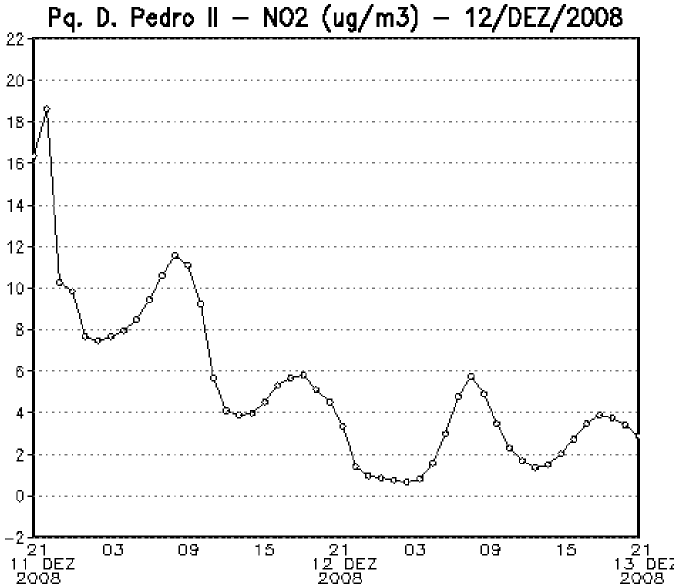
O Parque Dom Pedro II está localizado próximo ao centro da cidade de São Paulo, entre a Praça da Sé e o bairro do Brás. É um local carregado de poluentes gerados por automóveis, ônibus e caminhões, uma vez que é atravessado pela Avenida do Estado, onde estes veículos trafegam em grande número, dia e noite, sendo que durante o dia a circulação é maior. Próximas, as Avenidas Senador Queiroz e Rua do Gasômetro também apresentam grande fluxo de veículos; outras ruas e avenidas locais também possuem grande tráfego. Ainda, no Parque Dom Pedro II está situado um importante terminal de ônibus de passageiros urbanos, com grande número de ônibus entrando e saindo o tempo todo. As Figuras 5-3 mostram a concentração, neste local, dos mais importantes causadores de chuva ácida: SO_2, NO e NO_2 em dois dias distintos no período de um mês, em 12/12/2008 e 12/1/2009.


Pq. D. Pedro II – SO2 (ug/m3) – 12/DEZ/2008
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
21
11 DEZ
2008
03
09
15
21
12 DEZ
2008
03
09
15
21
13 DEZ
2008

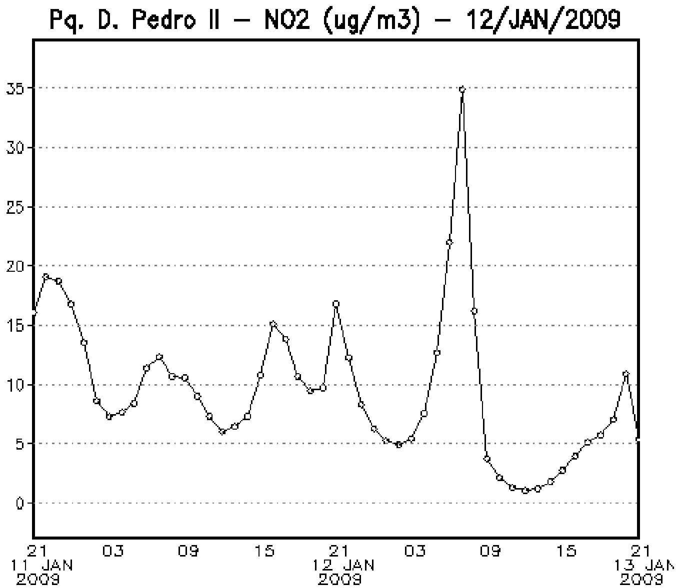

Pq. D. Pedro II – SO2 (ug/m3) – 12/JAN/2009
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
−5
21
11 JAN
2009
03
09
15
21
12 JAN
2009
03
09
15
21
13 JAN
2009


Pq. D. Pedro II – NO (ug/m3) – 12/DEZ/2008
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
21
11 DEZ
2008
03
09
15
21
12 DEZ
2008
03
09
15
21
13 DEZ
2008


Pq. D. Pedro II – NO (ug/m3) – 12/JAN/2009
240
210
180
150
120
90
60
30
0
21
11 JAN
2009
03
09
15
21
12 JAN
2009
03
09
15
21
13 JAN
2009



Pq. D. Pedro II – NO2 (ug/m3) – 12/DEZ/2008
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
21 11 DEZ 2008
03
09
15
21 12 DEZ 2008
03
09
15
21 13 DEZ 2008

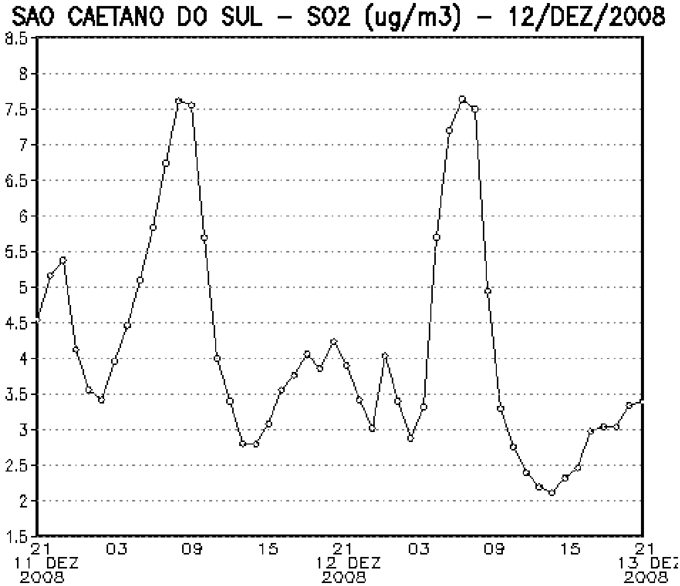


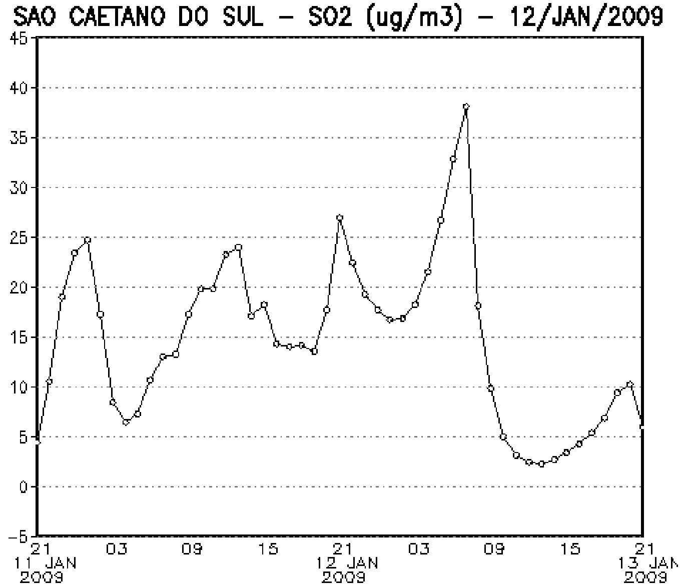
Pq. D. Pedro II – NO2 (ug/m3) – 12/JAN/2009
35
30
25
20
15
10
5
0
21 11 JAN 2009
03
09
15
21 12 JAN 2009
03
09
15
21 13 JAN 2009

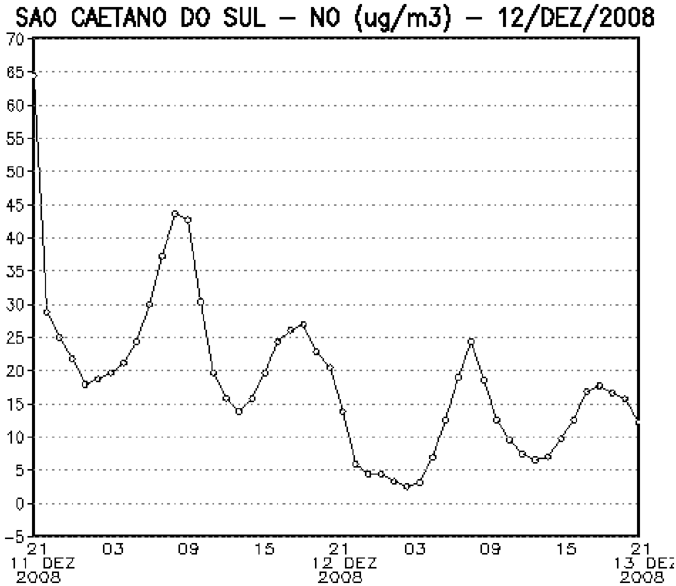
Figuras 5-3. Gráficos da Concentração de SO_2, NO e NO_2 em 12/12/2008 e 12/1/2009 no Parque Dom Pedro II em São Paulo SP, Brasil. *[Fonte: Brasil/USP[2] São Paulo/IAG, Dispersão de Poluentes, Grupo de Modelagem de Dispersão de Poluentes – Laboratório Master – DCA/IAG/USP, Responsáveis Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas e Melissa Santi Itimura, Previsão (Séries Temporais), 2009]*

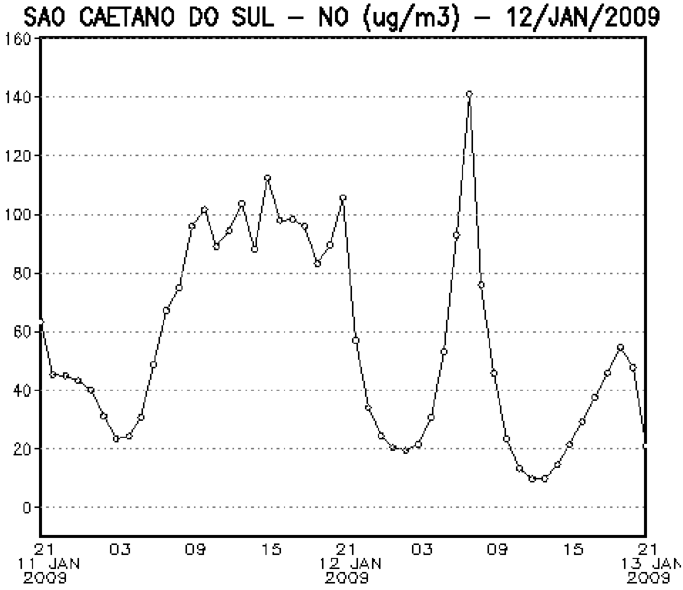
Os gráficos das Figuras 5-3 são da máxima importância para avaliarmos a formação da chuva ácida. Inúmeras são as conclusões que podemos tirar a partir dos números obtidos. Caso façamos a soma diária histórica, obtendo a quantidade de poluentes emitidos e dispersos, aliado à direção dos ventos para sabermos o destino do SO_2, NO e NO_2 produzidos no local, poderemos então descobrir o quanto e onde está ocorrendo a chuva ácida proveniente deste ponto emissor. Ainda, é preciso lembrar que concentrações elevadas destes poluentes causam prejuízo à saúde das pessoas que tenham de permanecer no Parque Dom Pedro II por algum tempo, como aquelas que esperam o embarque no terminal de ônibus ou mesmo dos motoristas e passageiros dos veículos automotores que estão presos no “engarrafamento” do trânsito.

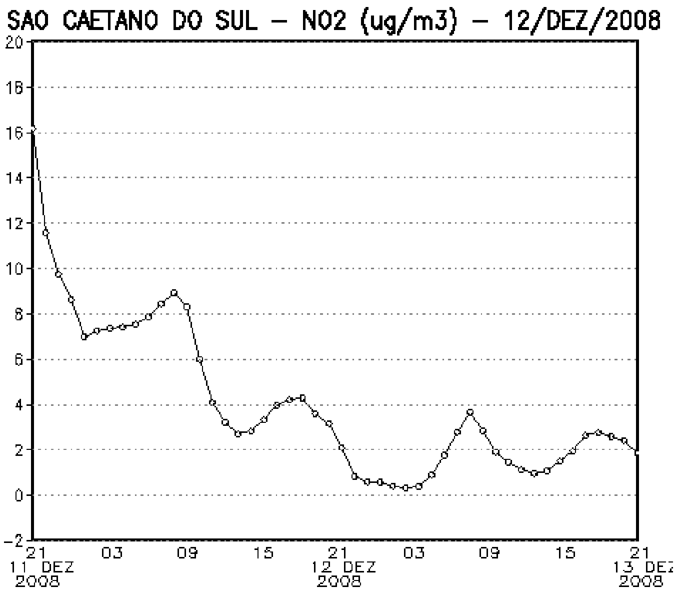
5.3.2 A CIDADE DE SÃO CAETANO DO SUL (SP)

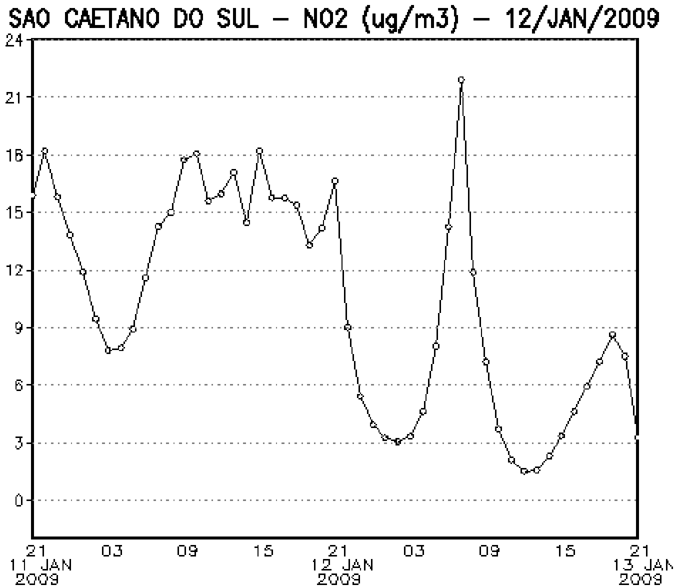

SAO CAETANO DO SUL - SO2 (ug/m3) - 12/DEZ/2008
8.5
8
7.5
7
6.5
6
5.5
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
21 11 DEZ 2008
03
09
15
21 12 DEZ 2008
03
09
15
21 13 DEZ 2008


SAO CAETANO DO SUL - SO2 (ug/m3) - 12/JAN/2009
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
21 11 JAN 2009
03
09
15
21 12 JAN 2009
03
09
15
21 13 JAN 2009


SAO CAETANO DO SUL – NO (ug/m3) – 12/DEZ/2008
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
–5
21 03 09 15 21 03 09 15 21
11 DEZ 2008
12 DEZ 2008
13 DEZ 2008


SAO CAETANO DO SUL – NO (ug/m3) – 12/JAN/2009
160
140
120
100
80
60
40
20
0
21 03 09 15 21 03 09 15 21
11 JAN 2009
12 JAN 2009
13 JAN 2009


SAO CAETANO DO SUL – NO2 (ug/m3) – 12/DEZ/2008
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
–2
21
03
09
15
21
03
09
15
21
11 DEZ
2008
12 DEZ
2008
13 DEZ
2008


SAO CAETANO DO SUL – NO2 (ug/m3) – 12/JAN/2009
24
21
18
15
12
9
6
3
0
21
03
09
15
21
03
09
15
21
11 JAN
2009
12 JAN
2009
13 JAN
2009

Figuras 5-4. Gráficos da Concentração de SO_2, NO e NO_2 em 12/12/2008 e 12/1/2009 em São Caetano do Sul SP, Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP[2] São Paulo/IAG, Dispersão de Poluentes, Grupo de Modelagem de Dispersão de Poluentes – Laboratório Master – DCA/IAG/USP, Responsáveis Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas e Melissa Santi Itimura, Previsão (Séries Temporais), 2009]***

Vejamos mais um exemplo. A cidade de São Caetano do Sul, no Estado de São Paulo, possui o melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do país, cerca de 0,919 (ONU – Organização das Nações Unidas *apud* Brasil/Prefeitura Municipal de São Caetano do Sul, 2009); entretanto, seu ar tem apresentado elevados índices de poluição nos últimos 10 anos, estando entre os piores do Estado de São Paulo. Veja, nas Figuras 5-4, um exemplo da emissão dos mesmos tipos de poluentes e das mesmas datas que as das Figuras 5-3, provenientes porém da cidade de São Caetano do Sul.

São Caetano do Sul fica a apenas 12 km de São Paulo e faz divisas, além de com a capital, com as cidades de Santo André e de São Bernardo do Campo. São Caetano do Sul tem uma população de 144.857 habitantes. A área do município é de 15 mil km^2. Sua densidade demográfica é de 9,342 habitantes por km^2. A cidade possui 115.515 veículos licenciados. O

número de indústrias no município é elevado: 792, com 14.670 postos de trabalho. Entre as indústrias de São Caetano do Sul, destacam-se os ramos: montagem de automóveis, siderurgia, metalurgia, química, alimentícia, etc. Todos estes dados citados são da Prefeitura de São Caetano do Sul, das páginas de estatísticas de seu sítio na Internet (Brasil/Prefeitura Municipal de São Caetano do Sul, 2009). A poluição do município é resultante da soma dos poluentes gerados pelos seus veículos automotores próprios, bem como pelos de origem externa que transitam pelo município ou próximo dele pelas rodovias, e ainda dos poluentes produzidos pelas indústrias locais e das cidades vizinhas, também muito industrializadas e com grande frota de veículos. A Tabela 5-5 traz a classificação da saturação de alguns poluentes de São Caetano do Sul.

MP (Material Particulado)	Área em vias de saturação (EVS)
CO (Monóxido de Carbono)	Área saturada moderado (SAT-MOD)
O_3 (Ozônio)	Área saturada severo (SAT-SEV)
SO_2 (Dióxido de Enxofre)	Área não saturada (NS)
NO_2 (Dióxido de Nitrogênio)	Área saturada moderado (SAT-MOD)

Tabela 5-5. Classificação da saturação de MP, CO, O_3, SO_2 e NO_2 em 2007 em São Caetano do Sul SP, Brasil. ***(Fonte: Brasil/CETESB[(1)], página 4 do documento original, tabela Classificação das Sub-Regiões modificada, 2009)***

5.4 CONCENTRAÇÃO, EMISSÃO E DISSEMINAÇÃO DE ALGUNS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO BRASIL

2290

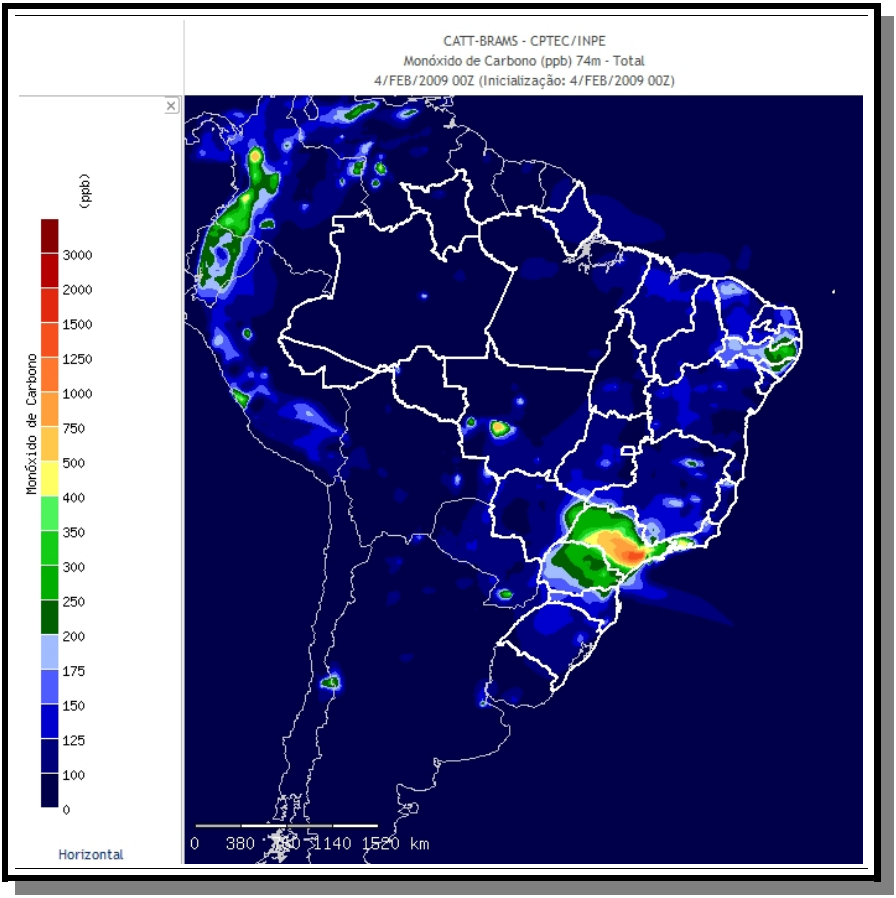


Figura 5-5. Concentração de CO à altitude de 74 m em 4/2/2009 no Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP[(2)] São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning),***

Qualidade do Ar, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]

A Figura 5-5 nos mostra a concentração de monóxido de carbono (CO) à altitude de 74 m em 4/2/2009 no Brasil. A presença de monóxido de carbono é um sinal de que está havendo combustão e, consequentemente, a emissão de gases causadores de chuva ácida. Note na Figura 5-5 que no estado de São Paulo localizam-se as maiores concentrações de CO do país, devido ao grande número de indústrias e automóveis circulantes da região.

A imagem da concentração de monóxido de carbono sobre o estado de São Paulo da Figura 5-5 é bastante impressionante, e uma pergunta brota quase que "automaticamente" de nosso interior: quanto está sendo prejudicada a saúde das pessoas que residem neste estado pela presença constante deste e de outros tantos poluentes atmosféricos? Este assunto será tratado no Apêndice I "Consequências da Chuva Ácida à Saúde Humana". Vejamos agora, na Figura 5-6, um detalhamento maior da concentração de CO sobre o estado de São Paulo; note que, sobre a região da capital do estado, a cidade de São Paulo, ocorre a maior concentração de monóxido de carbono: 1.250 ppb.

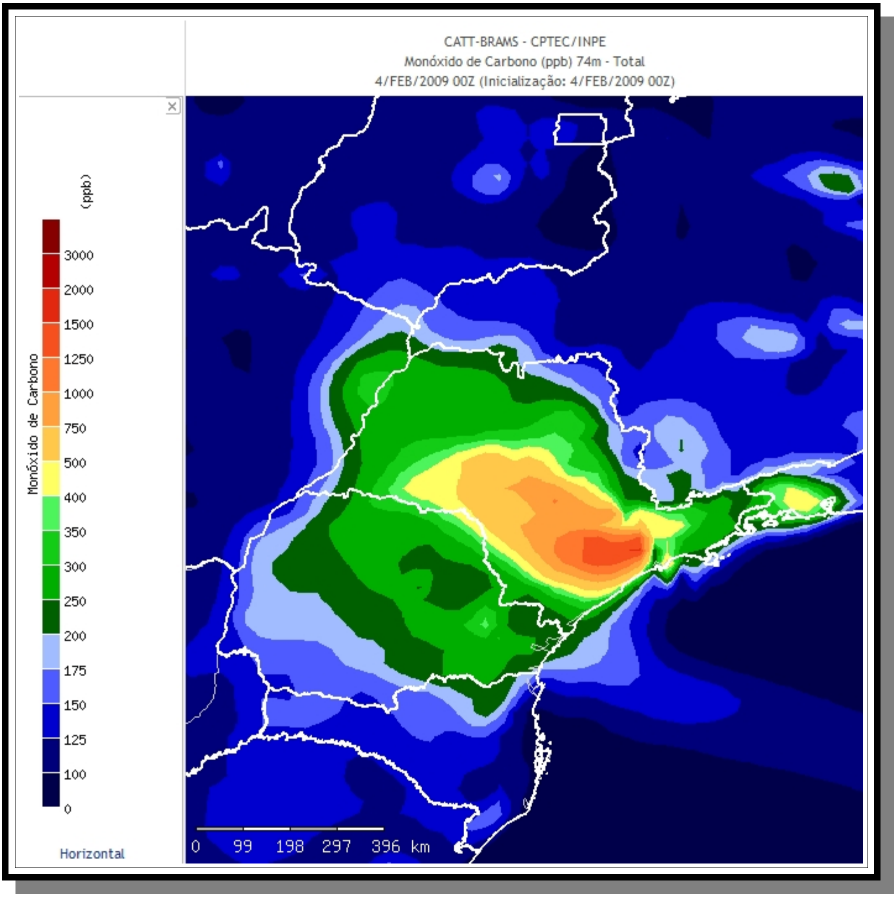


Figura 5-6. Concentração de CO à altitude de 74 m em 4/2/2009 no estado de São Paulo, Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP[(2)] São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning), Qualidade do Ar, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]***

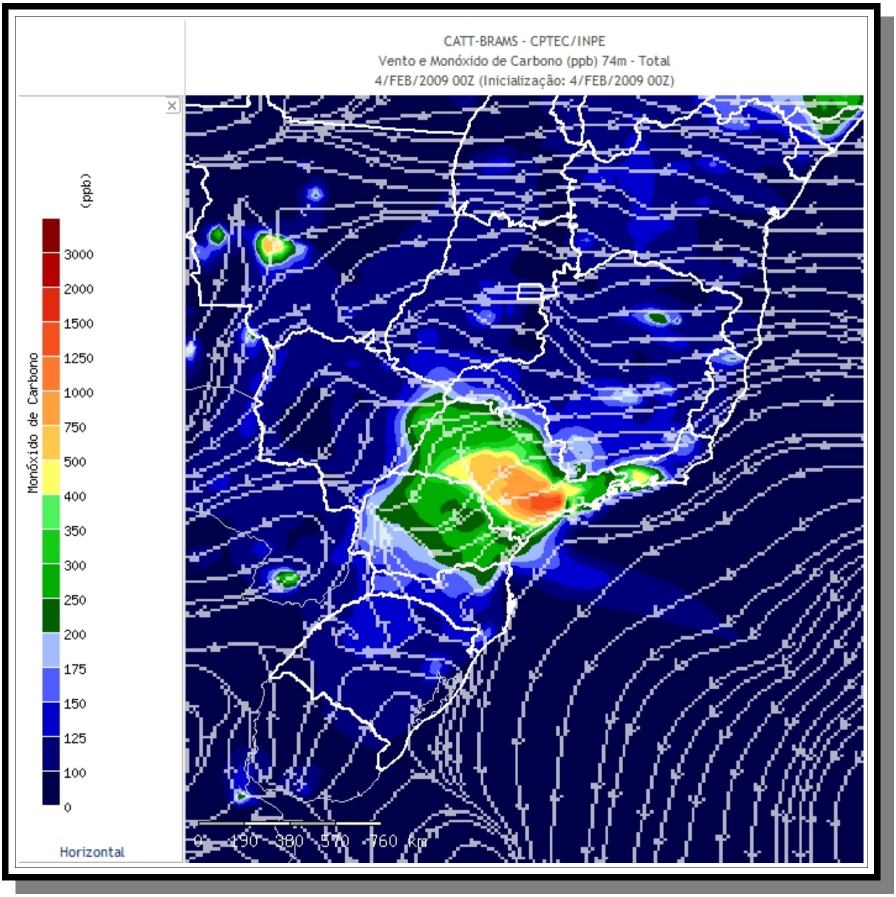


Figura 5-7. Sentido dos ventos e concentração de CO à altitude de 74 m em 4/2/2009 em São Paulo e nos estados vizinhos, Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP(2) São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning), Qualidade do Ar, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]***

A Figura 5-7, além da concentração de monóxido de carbono, traz o sentido dos ventos em São Paulo e em seus estados vizinhos, bem como no Oceano Atlântico: note que os ventos que passam por São Paulo em 4/2/2009 estão se dirigindo para o Estado do Paraná. Assim, a poluição gerada em São Paulo naquela data se dirigiu para o Paraná, onde, se houve precipitação, certamente ocorreu chuva ácida. Nem sempre o sentido dos ventos que passam por São Paulo se dirigem ao Paraná, tomando rumos diferentes de acordo com as condições atmosféricas de cada dia; entretanto, a poluição gerada por São Paulo sempre gera chuva ácida que é exportada para outros locais.

Veja, na Figura 5-8, o sentido dos ventos sobre todo o Brasil em 4/2/2009, bem como a concentração de monóxido de carbono à altitude de 74 m. Note, na Figura 5-9, que, à altitude de 750 m, a poluição por CO diminui drasticamente.

As figuras 5-5 a 5-9 nos mostraram dados relativos à concentração de CO em ppb (partes por bilhão); entretanto, também é bom conhecermos os números relativos às emissões de CO, no caso em kg/m^2s, o que nos é apresentado pela Figura 5-10. Note nesta figura que o tom de alaranjado sobre a cidade de São Paulo indica a emissão na legenda de 5.e-9 kg[CO]/m^2s: trata-se de uma *notação científica ou exponencial*, cujo número é $5 . 10^{-9}$ ou, na notação

decimal, 0,000.000.005 kg[CO]/m²s. Já a Figura 5-11 nos traz os valores de emissões de CO_2.

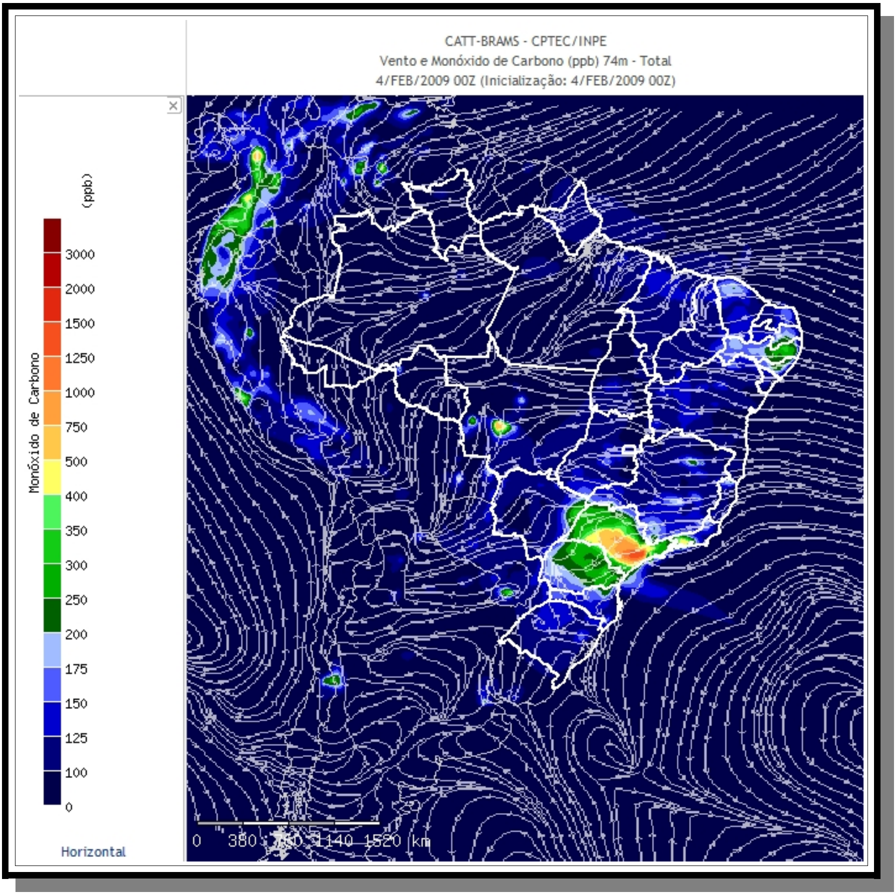


Figura 5-8. Sentido dos ventos e concentração de CO à altitude de 74 m em 4/2/2009 no Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP(2) São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning), Qualidade do Ar, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]***

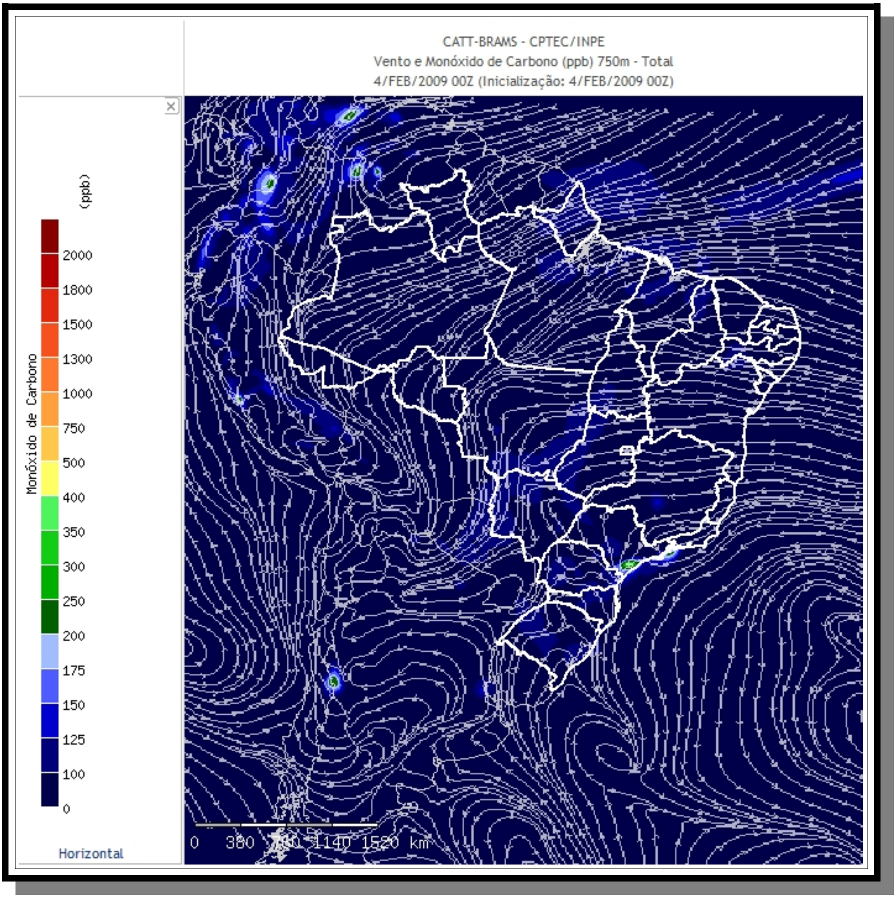


Figura 5-9. Sentido dos ventos e concentração de CO à altitude de 750 m em 4/2/2009 no Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP[2] São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning), Qualidade do Ar, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]***

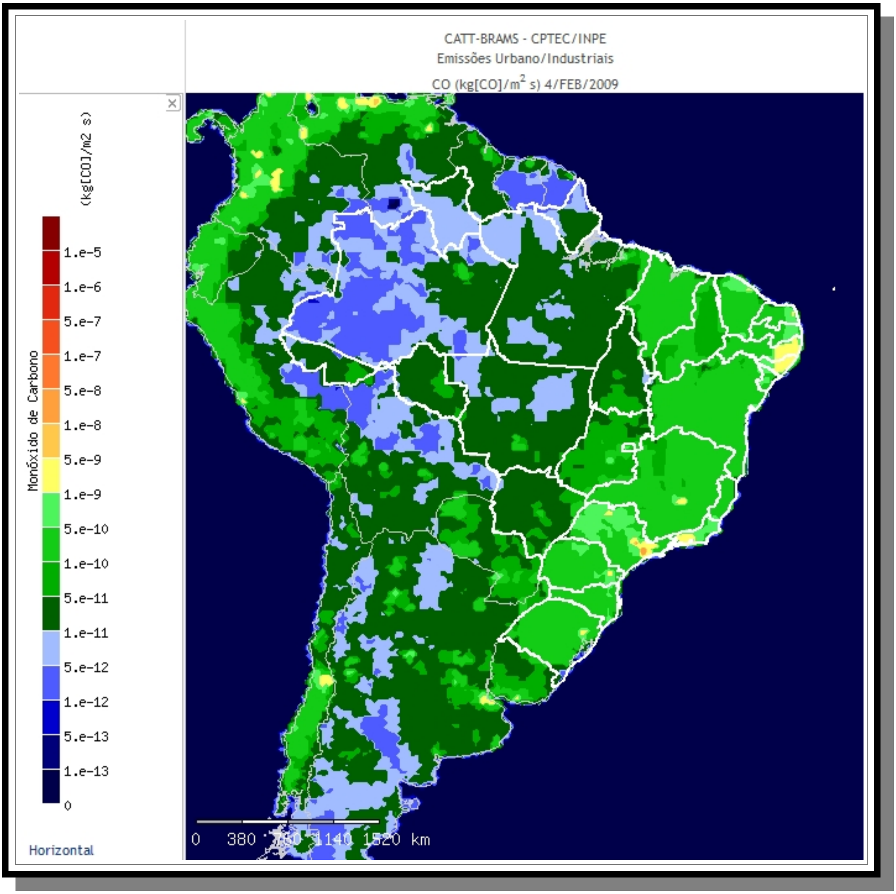


Figura 5-10. Emissões urbano/industriais de CO em 4/2/2009 no Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP[2] São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning), Emissões Urbano/Industriais, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]***

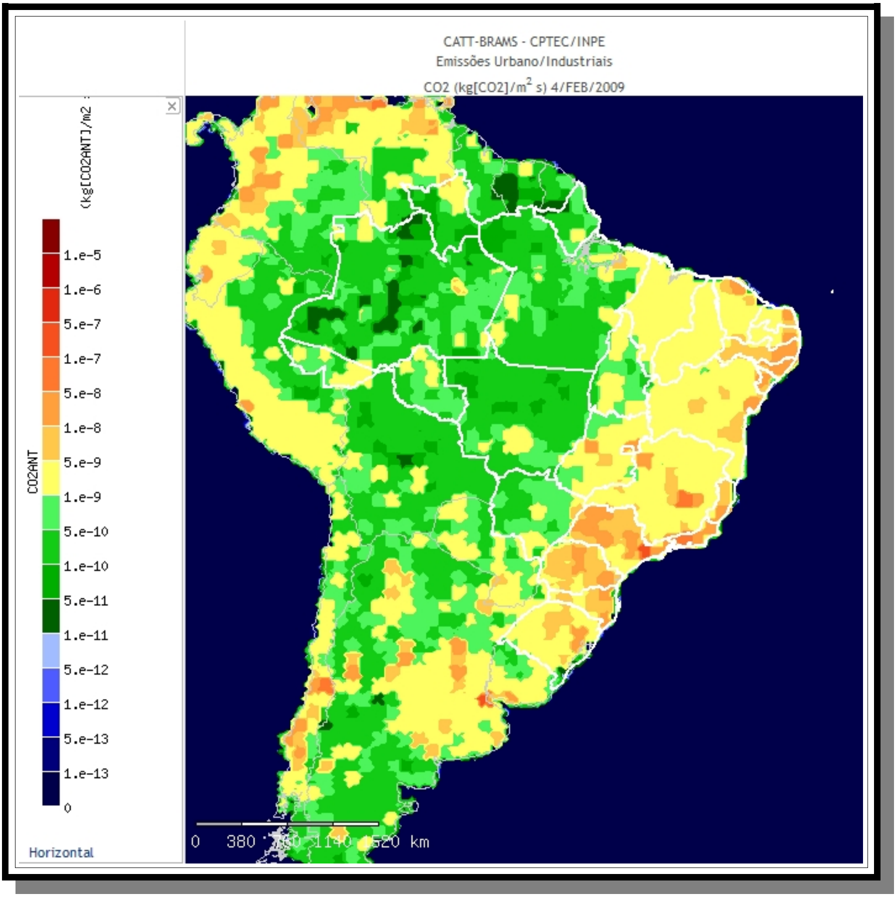


Figura 5-11. Emissões urbano/industriais de CO_2 em 4/2/2009 no Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP[2] São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning), Emissões Urbano/Industriais, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]***

5.4.1 EMISSÕES DE QUEIMADAS

Emissões de dióxido de carbono (CO_2) a partir de queimadas são também sinais de que estão ocorrendo combustões e, portanto, emissões de gases causadores de chuva ácida, como NO e NO_2. A Figura 5-12 nos mostra a emissão de CO_2 a partir de queimadas em 4/2/2009 no Brasil, oriundas do preparo para o cultivo da terra ou, pior, da queima de florestas nativas para a geração de carvão vegetal ou para a criação de novas áreas de plantio. As queimadas são um terrível problema sob vários aspectos: localmente e em regiões vizinhas, toda a população residente é afetada, pois a fumaça gerada causa intoxicação e sufocamento, colocando toda a comunidade até em risco de vida pela intensa fumaça que muitas vezes não se dissipa por condições atmosféricas inadequadas, sendo que, pessoas doentes ou debilitadas, idosos e crianças, e mesmo pessoas saudáveis, podem perder suas vidas vítimas da fumaça; além destas combustões gerarem gases causadores de chuva ácida, ocorre o fim das florestas nativas regionais, com a perda de flora e fauna, cuja recomposição original, em muitos casos, será impossível pela perda de espécimes que só ocorriam naquela localidade; a liberação de CO_2 na atmosfera contribui com o aquecimento da Terra, conforme será explicado no Apêndice II “Efeito Estufa, Aquecimento da Terra e Mudanças Climáticas”.

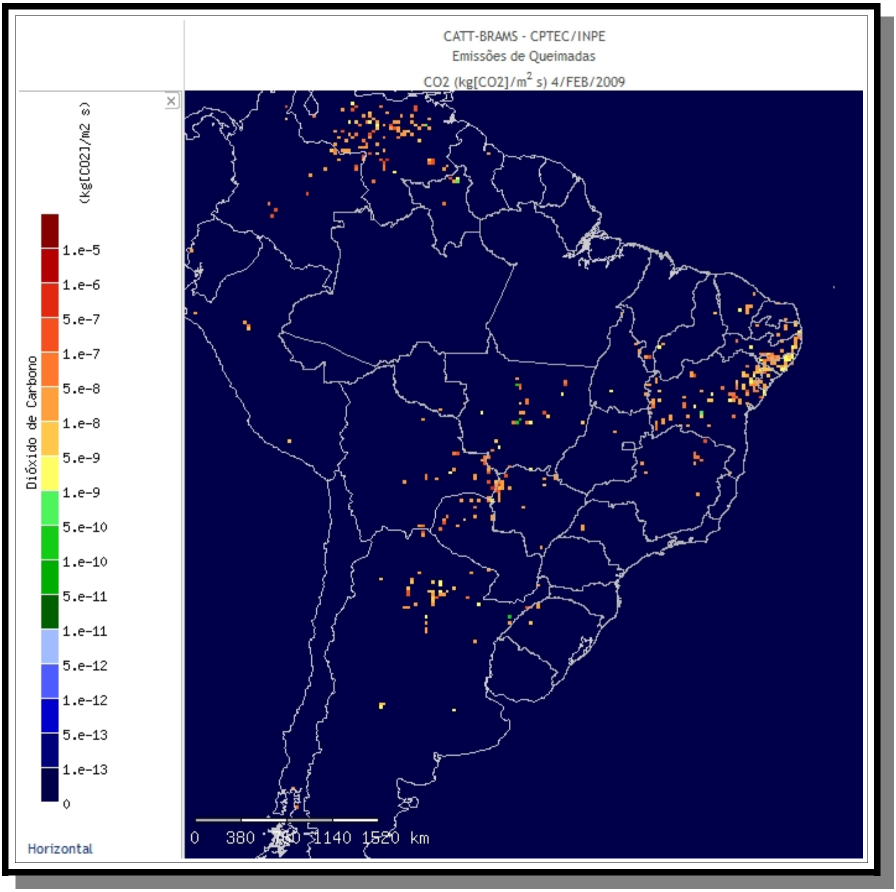


Figura 5-12. Emissões de CO_2 por queimadas em 4/2/2009 no Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP(2) São Paulo/IAG, Queimadas (Biomass Burning), Emissões de Queimadas, CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009]***

Todas as regiões agrícolas onde ocorrem precipitações ácidas estão tendo gastos adicionais com a calagem do solo: considerando-se a soma das áreas cultivadas no país, o valor total com a correção da acidez do solo deve ser "estratosférico".

6

CONCLUSÃO

A acidez atmosférica e diversos tipos de poluição do ar são muito nocivos à saúde humana, trazem sérios malefícios e prejuízos à agricultura e degradam o meio ambiente, com graves impactos à flora e à fauna. É necessário que as comunidades e governos tomem atitudes concretas urgentes para diminuir a poluição atmosférica a níveis seguros ou, quiçá, extingui-la, a fim de possibilitar um mundo saudável para nossos filhos e futuras gerações. É necessário um esforço coletivo.

Cada um de nós deve fazer o que for possível para evitar a chuva ácida e a emissão de poluentes no Brasil. Economizar energia elétrica é muito importante. Evitar o uso de automóveis próprios e utilizar o transporte coletivo urbano é indispensável. A reciclagem de lixo tem de ser obrigatória.

Ainda, os cidadãos devem se reunir dentro de sua comunidade e, após levantarem os problemas de poluição verificados em sua cidade, partirem para ações

concretas a fim de eliminar os problemas que estejam enfrentando. Muitas vezes, a simples redução da poluição já será uma grande vitória!

O governo deve traçar metas claras de redução de poluição para todo o país, bem como fiscalizar e punir a infração de normas estabelecidas pelas leis ambientais vigentes. Muitas vezes, o governo deverá colaborar financeiramente com algumas indústrias menores, pois frequentemente os equipamentos antipoluição não são baratos. Mesmo organizações comunitárias podem por si mesmas levantar fundos para comprar os equipamentos antipoluição para certas indústrias.

A você, proprietário de qualquer tipo de indústria, cabe verificar se ela está causando algum tipo de poluição no ambiente, e tomar as medidas necessárias para eliminar o problema; caso tenha condições econômicas favoráveis, faça o que for necessário por si mesmo; caso não disponha de condições financeiras para adquirir os equipamentos antipoluição, não se envergonhe de pedi-los à comunidade ou às autoridades governamentais: você mesmo, seus próprios filhos, netos e gerações futuras serão os maiores beneficiários!

APÊNDICE I

CONSEQUÊNCIAS DA CHUVA ÁCIDA À SAÚDE HUMANA

1. INTRODUÇÃO

Devido estar em jogo de maneira dramática a saúde humana, apresentaremos, ainda que de maneira breve, as consequências da chuva ácida ao homem. Este apêndice deve ser lido por chefes de Estado, senadores, deputados, governadores, prefeitos, membros da hierarquia política de todos os níveis, organizações que cuidam da saúde pública, profissionais da saúde, e todos aqueles que lidam com a saúde humana, física e mental, direta ou indiretamente. Naturalmente, sendo do máximo interesse de toda a população, deve ser lido especialmente por você, cidadão.

2. EFEITOS DOS METAIS TÓXICOS

Os metais tóxicos deslocados pela chuva

ácida, conforme descrito no Capítulo 4, item 4.2.3, também vem a afetar gravemente a saúde humana. Trata-se de uma ameaça das mais perigosas devido acontecer de maneira sutil e imperceptível, e quando consegue-se detectá-la, após longo período, pode já ter afetado milhares de pessoas.

Minerais tóxicos como mercúrio, chumbo, cádmio e outros são dissolvidos e disponibilizados no ambiente pela chuva ácida, e então são carreados para reservatórios de água destinados à ingestão humana, bem como são também absorvidos pelos vegetais dos quais nos alimentamos. Mesmo os animais dos quais comemos a carne, como o gado de corte, por se alimentarem de vegetais que absorveram os minerais nocivos, podem apresentar altas concentrações de metais tóxicos. Peixes contendo altos níveis de mercúrio, excedendo os padrões federais dos Estados Unidos, foram encontrados em lagos acidificados em Nova York e Maine (E.U.A.), Canadá e Escandinávia (Gould, 1985). É importante lembrar que tanto no caso do gado como dos peixes o acúmulo final dos metais tóxicos é grande nestes animais devido serem topo da cadeia alimentar. Isto ocorre porque pequenos incrementos na acidificação liberam metais tóxicos que são absorvidos primeiramente pelos vegetais do solo ou pelo plâncton de rios, lagos e oceanos. No caso do gado, este vem a acumular os minerais tóxicos em sua

carne e órgãos a partir dos vegetais contaminados que ingere. No caso dos peixes, a absorção inicial dos metais tóxicos se dá através dos microrganismos planctônicos, que são a base da cadeia alimentar de todos os ecossistemas aquáticos, acumulando-se então estes minerais tóxicos finalmente no corpo dos peixes; também, muitas vezes estes microrganismos convertem estes metais em formas mais tóxicas, como o mercúrio, que é convertido em metil mercúrio. Assim, observamos uma contaminação aguda na carne do gado e peixes.

Estes elementos tóxicos podem danificar o sistema nervoso humano mesmo em baixas concentrações, especialmente em crianças. Infelizmente, os efeitos dos metais tóxicos são insidiosos e cumulativos, podendo estar afetando grande parte da população sempre com ausência de manifestações agudas. Problemas psicológicos em adultos e crianças podem enganar terapeutas quanto à verdadeira causa, devido à contaminação não suspeitada por metais tóxicos, levando a quadros clínicos de depressão, ansiedade, estresse, superexcitação, estados nervosos exagerados, síndrome do pânico, etc.; sem embargo, parece que estas doenças têm sido quase que as principais vividas pelas sociedades pós-revolução industrial, muito embora também possam ter diversas outras causas.

Além disso, é importante lembrar que outros tipos de poluentes do ambiente, não necessariamente ácidos, como inseticidas, herbicidas, agrotóxicos, etc., que são borrifados nas colheitas agrícolas, e que também vem a contaminar o meio ambiente, vão parar, além de diretamente nos próprios vegetais cultivados, também indiretamente na carne que ingerimos dos animais que se alimentam em pastos contaminados, e também na carne dos peixes dos rios (e mesmo dos oceanos). Todos estes defensivos agrícolas trazem de maneira grave os sintomas psicológicos relatados no parágrafo anterior ao homem que venha a ingerir esses vegetais ou carne contaminados, ou mesmo através da aspiração direta do ar contendo estes poluentes. Há diversos relatos no Brasil de que trabalhadores que lançam pesticidas agrícolas nas lavouras têm quadros de depressão profunda, inclusive com altos índices de suicídio, quadros estes que se repetem nas populações das áreas das cidades adjacentes às regiões de pulverização.

A água acidificada pela chuva ácida nos reservatórios de água destinada à ingestão humana dissolve e lixivia o chumbo e o cobre dos encanamentos por onde passa antes de chegar às nossas torneiras, bem como do chumbo da solda das juntas dos encanamentos que não contém chumbo ao longo dos canos. Gould (1985) relata que em um estudo da água em reservatórios para a ingestão humana nos

Adirondacks (E.U.A.), verificou-se que esta água estava acidificada, e oficiais de saúde pública no estado de Nova York relataram ao menos dois casos de níveis elevados de chumbo no sangue de crianças que ingeriam aquela água que tinha valores de pH de 4,2 a 5 e que chegavam à suas casas através de canos com chumbo. Mesmo quando os encanamentos foram bem lavados, a água continha 0,2 mg de chumbo por litro, quantidade esta quatro vezes maior do que padrão federal para água destinada à ingestão humana. Foram encontrados níveis elevados de cobre em água ácida com pH 4,95 servidas à população em canos com cobre em sua composição.

Infelizmente, o problema de acidificação da água bebida pelo homem não está restrito àquelas conduzidas por encanamentos contendo chumbo ou cobre. Segundo G. E. Fuhs (apud Gould, 1985), diretor do Centro de Saúde Ambiental do Estado de Nova York (E.U.A.), a água de nascentes em certas localidades pode conter concentrações de cobre acima de 1 mg/l e de chumbo acima de 0,2 mg/l. Isto é devido à ação das precipitações ácidas, que lixiviam os minerais tóxicos das rochas, ou tornam quimicamente disponíveis estes metais já presentes no solo conforme descrevemos anteriormente, metais tóxicos estes que vem assim a contaminar mesmo a água de nascentes, rios, lagos, poços, represas, açudes, etc.

2.1 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS SOBRE O CHUMBO

O chumbo é um dos tóxicos metálicos que mais tradicionalmente afetam o homem, uma vez que intoxicações com chumbo já ocorriam na antiguidade. Encontraram-se sinais de chumbo em esqueletos de nobres do antigo Império Romano. Acredita-se hoje que a queda do Império Romano deu-se pelo hábito cultivado à época de consumir-se vinho tirado de recipientes revestidos de chumbo, que possuía um sabor distintivamente mais suave e satisfatório do que o vinho guardado em cerâmica comum pelos camponeses. Sabemos atualmente que o vinho dissolvia quantidades diminutas de chumbo e gerava assim um forma suave de envenenamento por chumbo que provavelmente contribuiu para a esterilidade e ineficiência da nobreza romana durante a decadência do Império.

2.1.1 FONTES EMISSORAS DE CHUMBO

São grandes emissoras de chumbo as fundições desse metal, bem como alguns ramos da indústria química, como por exemplo o da fabricação de plastificantes, como o palmitato de chumbo, para a indústria de plásticos.

Os gases industriais contendo chumbo e seus sais se depositam apenas a poucos quilômetros da fonte emissora. Isto ocorre devido à densidade elevada destes elementos. Um acidente com gases industrias ocorrido em Nordenham, na Alemanha, espalhou chumbo no solo apenas até uma distância de 2,5 km da fonte emissora. Se isto é bom no sentido de que comunidades e ecossistemas distantes não são afetados diretamente, por outro lado pode ser extremamente perigoso para todos que vivem nas imediações de uma tal indústria, visto não haver diluição ambiental que minimize os efeitos concentrados do chumbo e de seus sais.

Grandes emissores de chumbo, com uma maior propagação, são os veículos automotores movidos a gasolina. A causa disto é a adição de tetra-etil-chumbo à gasolina como antidetonante a fim de melhorar o desempenho do motor. Como consequência disto, os motores a gasolina eliminam chumbo finamente dividido e restos não queimados de tetra-etil-chumbo, que pode permanecer na atmosfera por um razoável intervalo de tempo. E, como veremos mais adiante, o chumbo é um veneno muito perigoso, principalmente para as crianças pequenas, uma vez que lhes prejudica o desenvolvimento do cérebro, tornando-as muito excitáveis ou agressivas. É preciso esclarecer que a maioria dos carros simplesmente não precisa de nenhuma adaptação para funcionar sem chumbo na

gasolina, alguns apenas precisando de um pequeno ajuste. São as seguintes as vantagens de se usar gasolina sem chumbo:

1.°) Ausência de emissão de chumbo pelo veículo, além de menor poluição por outras substâncias emitidas caso o carro esteja equipado com conversor catalítico;

2.°) Maior economia para o proprietário do automóvel, pois a gasolina sem chumbo é mais barata, e além disso o seu veículo consumirá menos combustível;

3.°) Maior durabilidade do motor, escapamento e óleo, devido a todos ficarem isentos de chumbo, o que reduzirá o custo da manutenção regular do veículo ao seu proprietário.

Vários países do mundo estão deixando de adicionar ou estão reduzindo a quantidade aditiva de chumbo à gasolina. Na Inglaterra, por exemplo, há mais de uma década atrás, a quantidade adicionada de chumbo à gasolina foi reduzida de 0,4 para 0,15 g/l: com isto, a quantidade de chumbo no ar do país inteiro diminuiu de 7.300 para 2.900 toneladas! E a Alemanha, que também havia chegado à taxa de 0,15 g/l de chumbo na gasolina, proibiu finalmente em 1988 a adição de chumbo à gasolina.

Com um teor de chumbo (cujo símbolo químico é Pb) de 0,4 g/l na gasolina, um carro que consuma 1 litro por cada 10 km rodados desprenderá cerca de 2 a 3 g de chumbo a cada 100 km. Mesmo com apenas 0,l5 g/l de Pb na gasolina, teremos um desprendimento de 0,6 a 1 g de chumbo por 100 km para um único veículo (Fellenberg, 1980).

Não obstante os canos dos escapamentos dos automóveis se situarem próximo do solo, o chumbo emitido pelos carros é ainda detectado a 100 m de distância das estradas. A gravíssima consequência disto é a contaminação de hortas e pomares situadas à margem das estradas. As plantas em si praticamente não absorveriam o chumbo caso o solo não estivesse acidificado. Entretanto, a chuva ácida, ao diminuir o pH do solo, ocasiona a absorção pela planta de diversos metais tóxicos, entre eles o chumbo, como explicamos no Capítulo 4, item 4.2.3. Com já dissemos, na Polônia, por exemplo, devido à acidificação do solo pela chuva ácida, verificou-se que colheitas continham 10 vezes mais chumbo do que o limite tolerável (Baines, 1993). Um outro problema sério causado pelo chumbo emitido pelos veículos e que contamina as culturas até 100 m próximos às rodovias reside na ingestão pelo homem e pelos animais de hortaliças e frutas cobertas pelo finíssimo pó de chumbo. É possível lavar frutas e verduras com soluções químicas adequadas aprovadas

pelas autoridades de saúde e que não prejudicam a saúde humana, mas a retirada do chumbo pode não chegar a 100% e, muitas vezes, nem mesmo esta lavagem é realizada. Devido a estas dificuldades, fixou-se na Alemanha limites máximos para a contaminação com chumbo para as hortaliças e frutas: para um pé de alface, por exemplo, este limite é de 7,5 mg de Pb. Há cerca de 30 atrás havia-se encontrado naquele país alguns alfaces com quantidades de chumbo quatro vezes superiores ao permitido. Na Alemanha, entretanto, o problema do Pb gerado pelos veículos está solucionado atualmente, pois naquele país já está proibido desde 1988 o uso de chumbo na gasolina, e a única contaminação a que as plantações estão sujeitas é a do chumbo originado pelas indústrias. Uma solução provisória para este problema para os países que ainda não proíbem a adição de chumbo à gasolina, como é o caso do Brasil, seria o de promover que as empresas revendedoras lavassem suas hortaliças e frutas, antes de comercializá-las ao público, com soluções químicas adequadas aprovadas pelas autoridades de saúde e que não prejudicam a saúde humana, o que também promoveria, além da eliminação do chumbo, a retirada de agrotóxicos que são comumente adicionados às culturas. Cuidado especial deverá merecer a água resultante de tal lavagem, pois ela estará contaminada com chumbo e agrotóxicos, os quais podem contaminar rios e simplesmente destruir toda a sua vida bem como

a dos ecossistemas que dependem diretamente destes rios, sendo portanto necessário que se disponha de estações de tratamento para um correto destino final dos poluentes resultantes.

2.1.2 EFEITOS DO CHUMBO SOBRE O HOMEM

Como no estômago e intestinos o chumbo é absorvido parcialmente, a contaminação atmosférica por chumbo oferece perigo ainda maior ao homem. De efeitos muito graves são o chumbo e o tetra-etil-chumbo atmosféricos. Ocorre que nos pulmões o chumbo é absorvido mais rápido e mais completamente do que no trato digestivo (Fellenberg, 1980). Uma vez na circulação sangüínea, o chumbo se combinará com os glóbulos vermelhos e se distribuirá por todo o organismo. Foi fixado o limite máximo admissível de chumbo para o corpo humano, sem comprometimento da saúde, de 0,7 µg de Pb / ml de sangue; na urina, isto corresponde a uma concentração de 0,07 µg de Pb / ml de urina. O organismo humano chega a esta concentração a partir de uma imissão (denominamos imissão ao fato de um poluente atingir um determinado ambiente) de chumbo de 0,5 µg por litro de ar por 8 horas.

O chumbo assimilado pelo organismo

desencadeia uma série de perturbações (Fellenberg, 1980). Até 90% do chumbo elementar deposita-se nos ossos, e os 10% restantes espalham-se pela musculatura, nervos e rins. Já os compostos organometálicos de Pb têm um comportamento bem diferente, como é o caso do tetra-etil-chumbo. Devido ao seu caráter lipofílico, este se acumula no cérebro e no sistema nervoso em proporções bem maiores. Assim, as intoxicações por compostos organometálicos de chumbo provocam, sobretudo, danos ao sistema nervoso central: verificam-se estados de agitação e, em estágio mais adiantado, epilepsia; temos ainda como efeitos mais tardios o parkinsonismo e paralisia.

Como já foi dito, o chumbo é muito perigoso para as crianças pequenas, pois lhes prejudica o desenvolvimento do cérebro, tornando-as muito excitáveis ou agressivas (Baines, 1994). Fellenberg (1980) relata que em crianças uma contaminação forte com chumbo pode provocar diminuição da capacidade intelectual: num levantamento sistemático nos E.U.A., verificou-se que em crianças com capacidade intelectual reduzida a quantidade de Pb no sangue era de 25,4 μg/ml; em crianças normais, a taxa de chumbo era inferior a 17,8 μg/ml de sangue.

A intoxicação por chumbo inorgânico e orgânico podem causar também (Fellenberg, 1980):

anemia, com o chumbo inibindo a fixação do ferro nos glóbulos vermelhos, reduzindo assim a capacidade de transporte de oxigênio pelos eritrócitos, aparecendo este tipo de anemia nas gengivas, onde se forma um depósito acizentado; desarranjos digestivos ("cólicas do chumbo"); danificação dos fagócitos dos pulmões, que são necessários para a eliminação de bactérias invasoras, o que resulta numa menor resistência a infecções.

Além da contaminação atmosférica pelas fontes emissoras já citadas, também devemos ter um grande cuidado com os utensílios domésticos que trazemos para dentro de nossos lares, pois traços de chumbo podem ser desprendidos de diversos desses objetos, como por exemplo: recipientes de estanho confeccionados com metal não inteiramente puro, objetos de cerâmica (como pratos e vasilhas) com um brilho especial devido à presença de sais de chumbo no esmalte, etc. (Fellenberg, 1980). Também, muitas vezes, lindos pratos, jarras e vasilhas brilhantes são denominados falsamente de "cristais" mas, na verdade, tratam-se de vidro com sais de chumbo e não devem ser usados para abrigar alimentos. Como já foi dito, os antigos nobres romanos contaminaram-se com chumbo utilizando utensílios semelhantes.

3. EFEITOS DIRETOS SOBRE A RESPIRAÇÃO

Há mais de um século, a acidez atmosférica manifestada sob a forma de neblina ou de vapores ácidos tem causado problemas diretos à saúde humana. Gould (1985) nos dá um breve relato histórico, a seguir descrito. Já em 1872, o químico britânico R. A. Smith atribuiu a "grande mortalidade" em Glasgow em parte ao "excepcional alto" nível de sulfato ácido e outros poluentes em suspensão no ar. No final de 1940 e começo de 1950, neblinas contendo altos níveis de poluentes na Pensilvânia e Londres confirmaram que podem ser letais. Quanto a brumas contendo baixos níveis de acidez, têm-se mostrado excepcionalmente difícil quantificar os efeitos a longo prazo sobre a saúde humana, sendo necessárias pesquisas longas e trabalhosas, mas não resta nenhuma dúvida de que o homem está sendo molestado.

Uma extensa reportagem publicada nos E.U.A. responsabiliza a poluição do ar pela morte prematura de cerca de 50.000 pessoas anualmente nos Estados Unidos (Gould, 1985). Chegou-se a essa conclusão baseando-se em dois tipos de estudos epidemiológicos: um que comparava a mortalidade em duas cidades contendo níveis diferentes de poluição do ar, e outro verificando a taxa de mortalidade dentro de uma mesma cidade em dias que possuíam diferentes níveis de poluição do ar. Estes estudos revelam uma pequena mas inevitável correlação entre poluição do ar

e mortes prematuras; mais pessoas tendem a morrer em dias poluídos ou logo após estes.

Estudos com animais têm demonstrado que aerosóis ácidos afetam as funções pulmonares: por exemplo, pelo incremento do ritmo requerido pelo pulmão para se limpar da substância estranha (Gould, 1985).

4. PADRÕES E ÍNDICES DE QUALIDADE DO AR

O limite máximo para a concentração de um determinado poluente na atmosfera é definido legalmente por padrões nacionais estabelecidos pelo IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 03/90. Estes padrões provêm de estudos científicos sobre os efeitos de cada poluente e possuem valores que visam proteger a saúde humana e do meio ambiente com margem de segurança apropriada (Brasil/ CETESB[2], 2009).

A Tabela A I - 1 nos apresenta os padrões brasileiros de qualidade do ar. Os *padrões primários* representam as concentrações máximas toleráveis e, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da polução. Já os

padrões secundários preveem o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, bem como o mínimo dano à fauna, flora, materiais e meio ambiente em geral (Brasil/CETESB[(2)], 2009).

Padrões nacionais de qualidade do ar
(Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário $\mu g/m^3$	Padrão Secundário $\mu g/m^3$	Método de Medição
partículas totais em suspensão	24 horas[1] MGA[2]	240 80	150 60	amostrador de grandes volumes
partículas inaláveis	24 horas[1] MAA[3]	150 50	150 50	separação inercial/filtração
fumaça	24 horas[1] MAA[3]	150 60	100 40	refletância
dióxido de enxofre	24 horas[1] MAA[3]	365 80	100 40	pararosanilina
dióxido de nitrogênio	1 hora[1] MAA[3]	320 100	190 100	quimilumi-nescência
monóxido de carbono	1 hora[1] 8 horas[1]	40.000 35 ppm 10.000 9 ppm	40.000 35 ppm 10.000 9 ppm	infravermelho não dispersivo
ozônio	1 hora[1]	160	160	quimilumi-nescência

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.
2 - Média geométrica anual.
3 - Média aritmética anual.

Tabela A I - 1. Padrões nacionais de qualidade do ar. ***(Fonte: Brasil/CETESB[(2)], 2009)***

Critérios para episódios agudos de poluição do ar
(Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas totais em suspensão ($\mu g/m^3$) - 24h	375	625	875
partículas inaláveis ($\mu g/m^3$) - 24h	250	420	500
fumaça ($\mu g/m^3$) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu g/m^3$) - 24h	800	1.600	2.100
SO_2 X PTS ($\mu g/m^3$)($\mu g/m^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ($\mu g/m^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio ($\mu g/m^3$) – 1h	400*	800	1.000

* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na Legislação Estadual que é mais restritiva (200 $\mu g/m^3$).

Tabela A I - 2. Critérios para episódios agudos de poluição do ar. ***(Fonte: Brasil/CETESB[(2)], 2009)***

A Tabela A I - 2 nos mostra os critérios para episódios agudos de poluição do ar onde, atingidos determinados níveis de concentrações de poluentes, temos a declaração dos estados de *Atenção*, *Alerta* e *Emergência*, quando, ao mesmo tempo, houver previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes (Brasil/CETESB[2], 2009).

Índices de qualidade do ar visam simplificar a divulgação das informações de concentrações de poluentes, e são como uma espécie de "nota" para a qualifidade do ar (Brasil/CETESB[2], 2009). As tabelas A I - 3 e A I - 4 nos trazem estas classificações, bem como os efeitos sobre a saúde correspondentes:

Qualidade	Índice	MP_{10} (µg/m^3)	O_3 (µg/m^3)	CO (ppm)	NO_2 (µg/m^3)	SO_2 (µg/m^3)
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

Tabela A I - 3. Índices de qualidade do ar. ***(Fonte: Brasil/CETESB[2], 2009)***

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Tabela A I - 4. Índices de qualidade do ar e efeitos respectivos da concentração de poluentes sobre a saúde humana. ***(Fonte: Brasil/CETESB[2], 2009)*** 2955

APÊNDICE II

EFEITO ESTUFA, AQUECIMENTO DA TERRA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

1. O EFEITO ESTUFA

A luz solar entra na Terra a uma velocidade constante de 2 gcal/cm^2/min (± 3,5%), valor este denominado *constante solar*. 1 caloria-grama (gcal) ou 1 caloria (cal) é a energia térmica necessária para elevar em 1ºC a temperatura de 1 cm^3 de água (a 15ºC).

Muitos gases presentes na atmosfera tem a propriedade de reter o calor que adentra a Terra e é refletido por sua superfície na forma de radiação infravermelha: são os chamados *gases-estufa*.

O efeito estufa que ocorre naturalmente, proveniente dos gases-estufa liberados pelos ecossistemas intactos, é muito benéfico para a Terra: sem o efeito estufa natural, estima-se que nosso planeta possuiria temperatura global média de -15 ºC (quinze

graus Celsius negativos); com o efeito estufa natural, a temperatura média do ar na Terra, excluindo-se a Antárctica, é de 15 ºC (quinze graus Celsius positivos).

Entretanto, os gases-estufa gerados como poluentes pelas ações humanas estão contribuindo perigosamente para a elevação da temperatura terrestre, o que está colocando em risco a sobrevivência do próprio homem no planeta pelas mudanças climáticas decorrentes. Ainda, alguns destes gases-estufa são também causadores de chuva ácida.

1.2 GASES ESTUFA

O vapor d'água atmosférico é o gás-estufa mais abundante e eficaz em reter calor. Este fato pode ser percebido diretamente por todos nós: numa noite de inverno nublada, as temperaturas normalmente permanecem mais altas do que numa noite sem nuvens. Embora as atividades poluidoras humanas não costumem liberar vapor d'água em quantidades preocupantes, é preciso notar que, com o aquecimento global, maior evaporação ocorrerá em todo o planeta nos oceanos, mares, lagos e rios, aumentando a quantidade de vapor d'água atmosférico, que é justamente o mais importante gás-estufa, o que contribuirá ainda mais com o aquecimento do ar no planeta!

O segundo gás-estufa mais importante é o dióxido de carbono (CO_2), também chamado de gás carbônico. Ele existe naturalmente na atmosfera, mas é produzido em grande quantidade nas atividades humanas pela queima de combustíveis fósseis: a concentração atmosférica de CO_2 aumentou aproximadamente 25% desde o início da Revolução Industrial com a queima de carvão, petróleo e gás; pela ação do homem, a concentração de CO_2 aumenta a uma taxa aproximada de 0,4% ao ano (Simon & DeFries, 1992). O desmatamento de florestas e a queima ou abandono de seu material orgânico para apodrecimento também libera CO_2. Por tudo isto, queima de combustíveis fósseis e desmatamentos, são injetados por ano na atmosfera cerca de 6 bilhões de toneladas de carbono (Simon & DeFries, 1992): como o acúmulo anual de CO_2 na atmosfera tem sido de aproximadamente 3 bilhões de toneladas, presume-se que os outros 3 bilhões de toneladas restantes estejam sendo absorvidos pela vida vegetal e pelos oceanos. Estima-se que a permanência do CO_2 na atmosfera seja de pelo menos 70 anos: isto significa que, caso fosse diminuída agora a quantidade de CO_2 liberado diariamente na atmosfera a níveis que deixassem de causar o efeito-estufa antinatural, o excesso de CO_2 que já foi injetado na atmosfera até agora demorá ao menos 70 anos para ser eliminado e, com isto, temos um aquecimento global inevitável para os próximos 70

anos!

Porém, outros gases-estufa, que individualmente encontram-se em concentrações menores do que o dióxido de carbono, tem em sua soma total combinada um efeito igual ou maior do que o CO_2 isolado. Dentre eles, podemos citar:

Metano (CH_4): é um componente primário do gás natural, proveniente da decomposição anaeróbia em pântanos, aterros sanitários, plantações de arroz em terras inundadas, bem como da ruminação de animais. É 25 vezes mais eficaz em reter o calor, por molécula, do que o CO_2. Permanece na atmosfera cerca de 9 a 15 anos;

Óxido Nitroso (N_2O): além de ser um gás-estufa, é também um dos principais causadores de chuva ácida. Na natureza, é liberado a partir da atividade de decomposição microbiana no solo. Pela ação humana, provém da queimada de florestas, do uso de fertilizantes com nitrogênio e, principalmente, da queima de combustíveis fósseis. Retém 250 vezes mais calor, por molécula, do que o CO_2. Permanece na atmosfera por cerca de 120 anos;

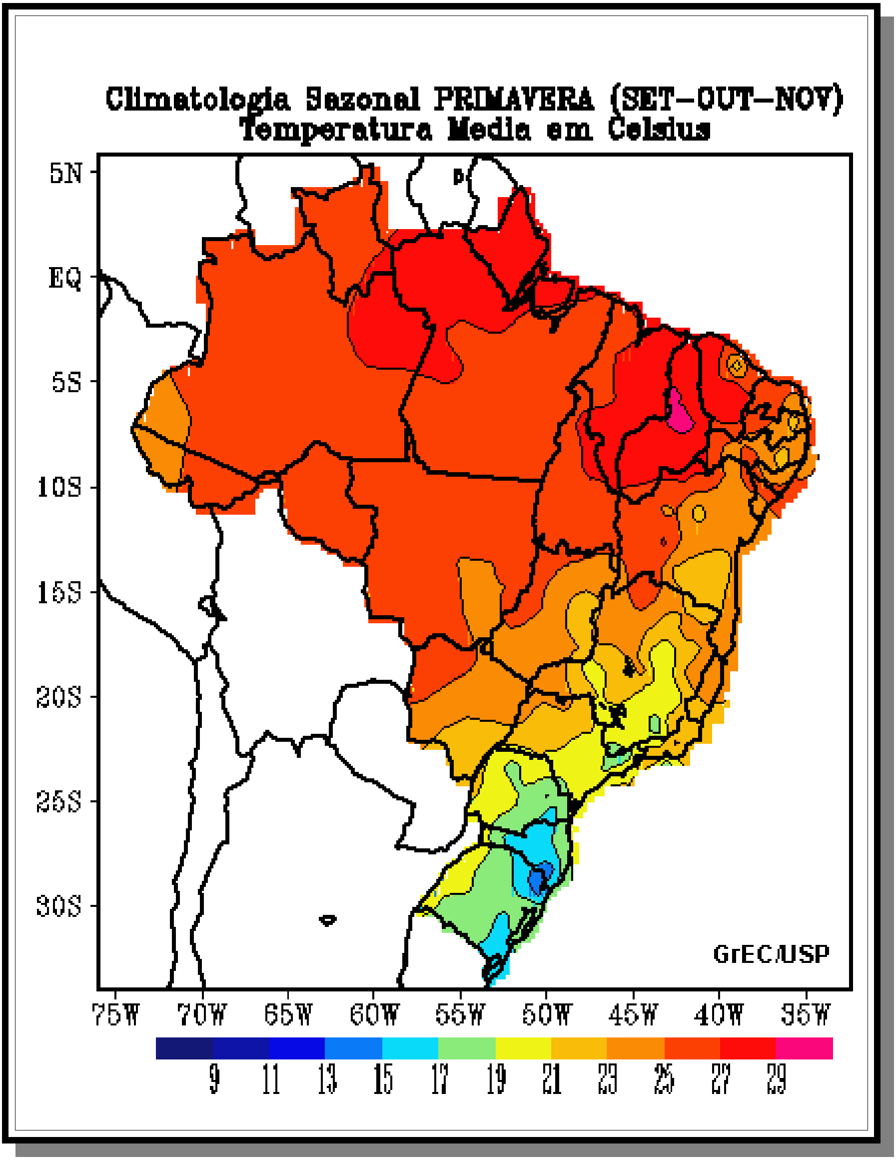
Clorofluorcarbonos (CFCs): compostos sintéticos usados pelo homem principalmente como gás de

refrigeração e em espumas. Os CFCs liberam cloro na estratosfera (camada da atmosfera de 12 km a 50 km acima do solo), catalisando a decomposição da camada de ozônio (O_3) (cerca de 22 km acima do solo, podendo variar de 16 a 30 km de altitude) que protege a Terra da radiação ultravioleta. O CFC-11 e o CFC-12 retém, respectivamente, 17.500 e 20.000 vezes mais calor, por molécula, do que o CO_2;

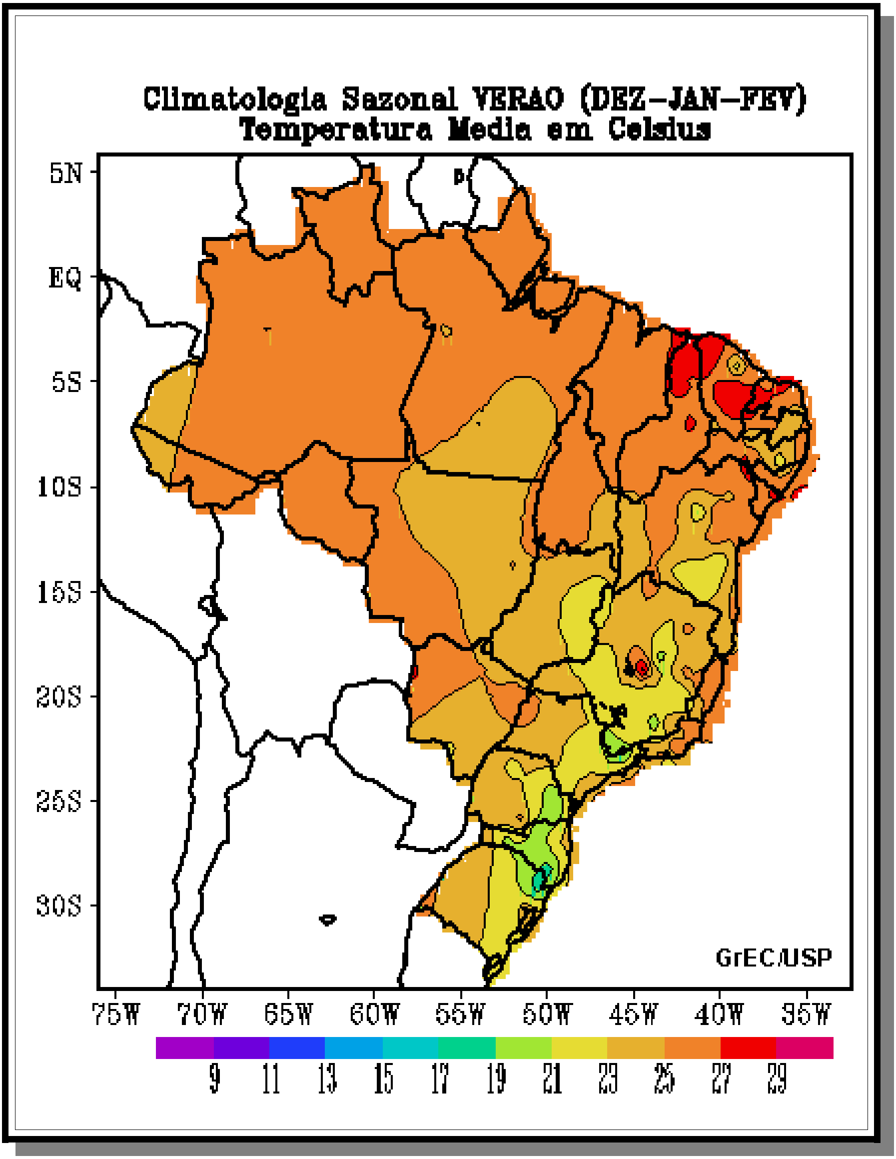
Ozônio (O_3): embora na estratosfera proteja a Terra da radiação ultravioleta, na troposfera o ozônio é um importante gás-estufa (a troposfera é a camada da atmosfera que tem contato com o solo, e que em média vai até 11 km de altura, apresentando valor mínimo de 8 km nos pólos e máximo de 18 km no equador). A queima de combustíveis fósseis gera óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos (importantes causadores de chuva ácida) que, reagindo entre si, na presença de luz solar, produzem O_3. O tempo de permanência do ozônio na atmosfera é de cerca de 0,1 a 0,3 ano.

São também gases-estufa os hidrofluorcarbonos (HFCs), os perfluorcarbonos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6).

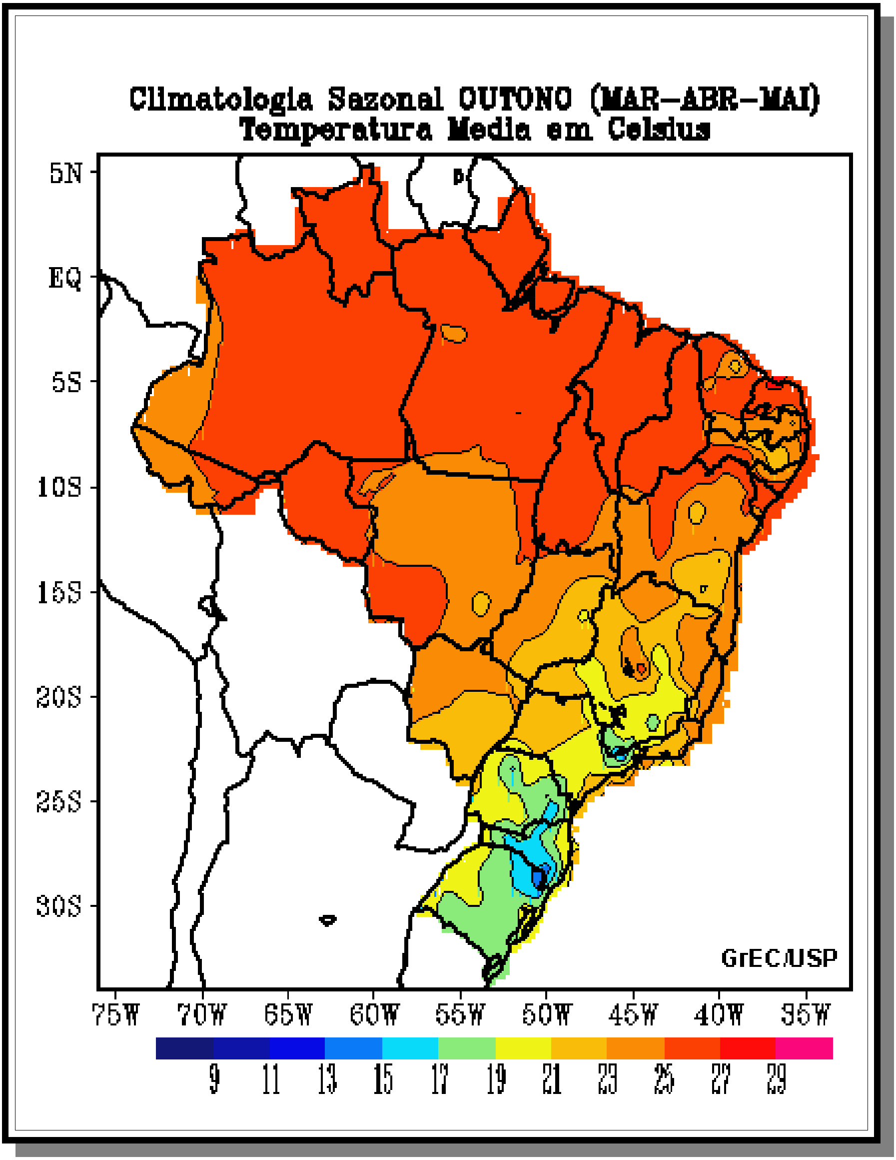
2. CONSEQUÊNCIAS DO AQUECIMENTO GLOBAL

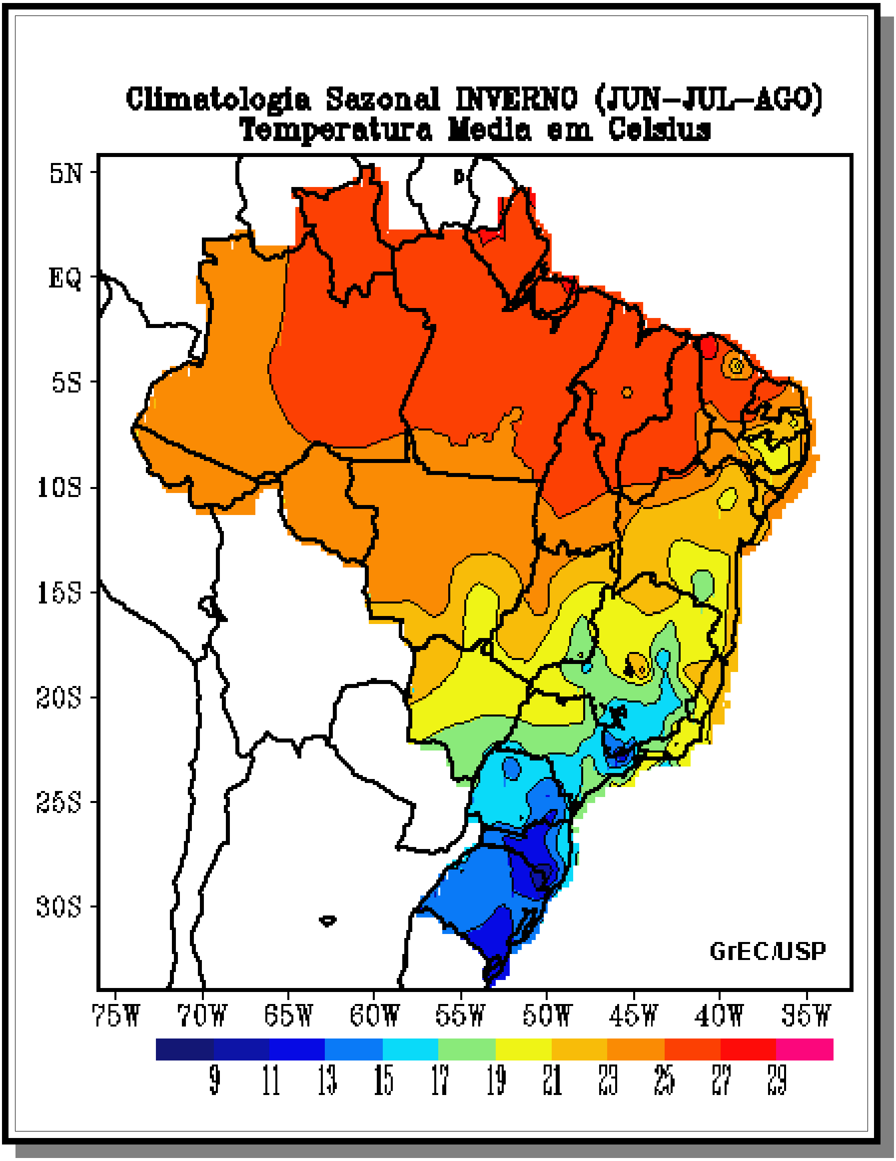

Climatologia Sazonal PRIMAVERA (SET-OUT-NOV)
Temperatura Media em Celsius
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
75W
70W
65W
60W
55W
50W
45W
40W
35W
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
29
GrEC/USP

3095

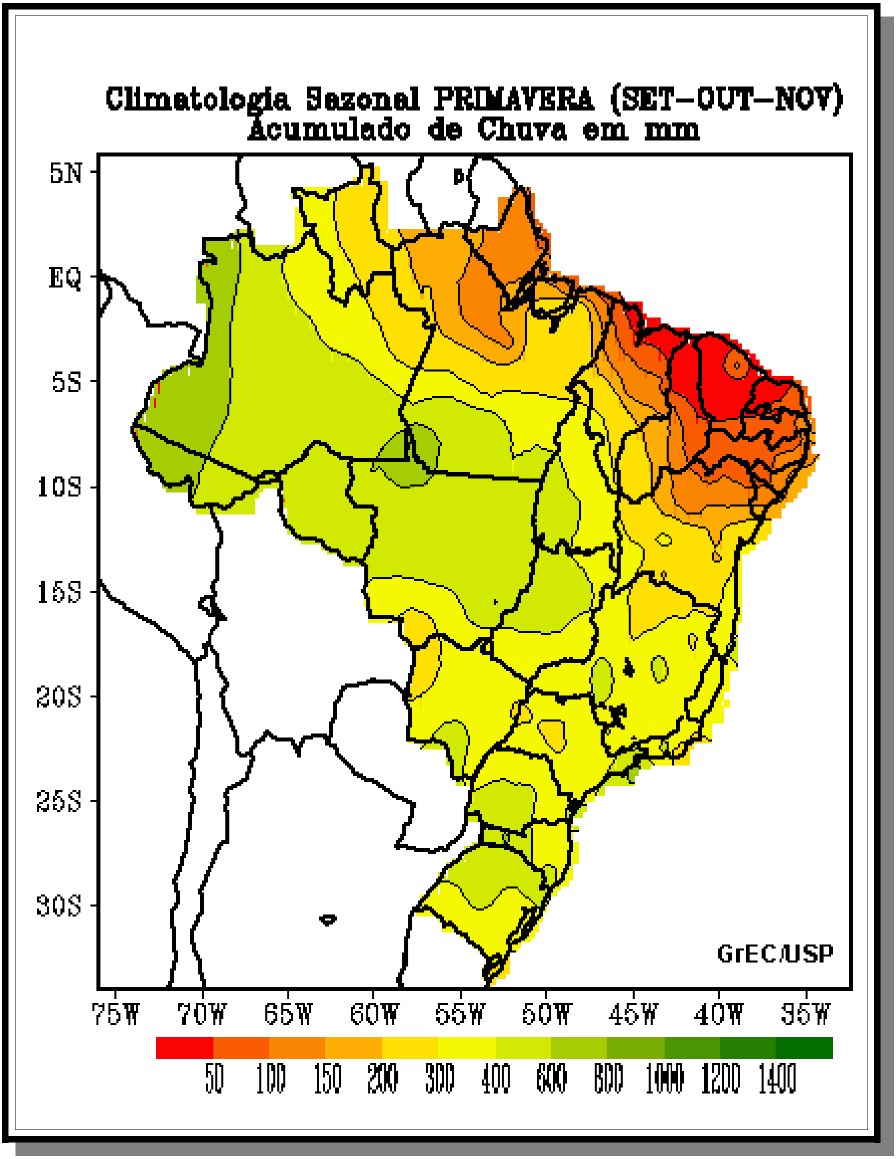

Climatologia Sazonal VERAO (DEZ-JAN-FEV)
Temperatura Media em Celsius
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
GrEC/USP
75W
70W
65W
60W
55W
50W
45W
40W
35W
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
29

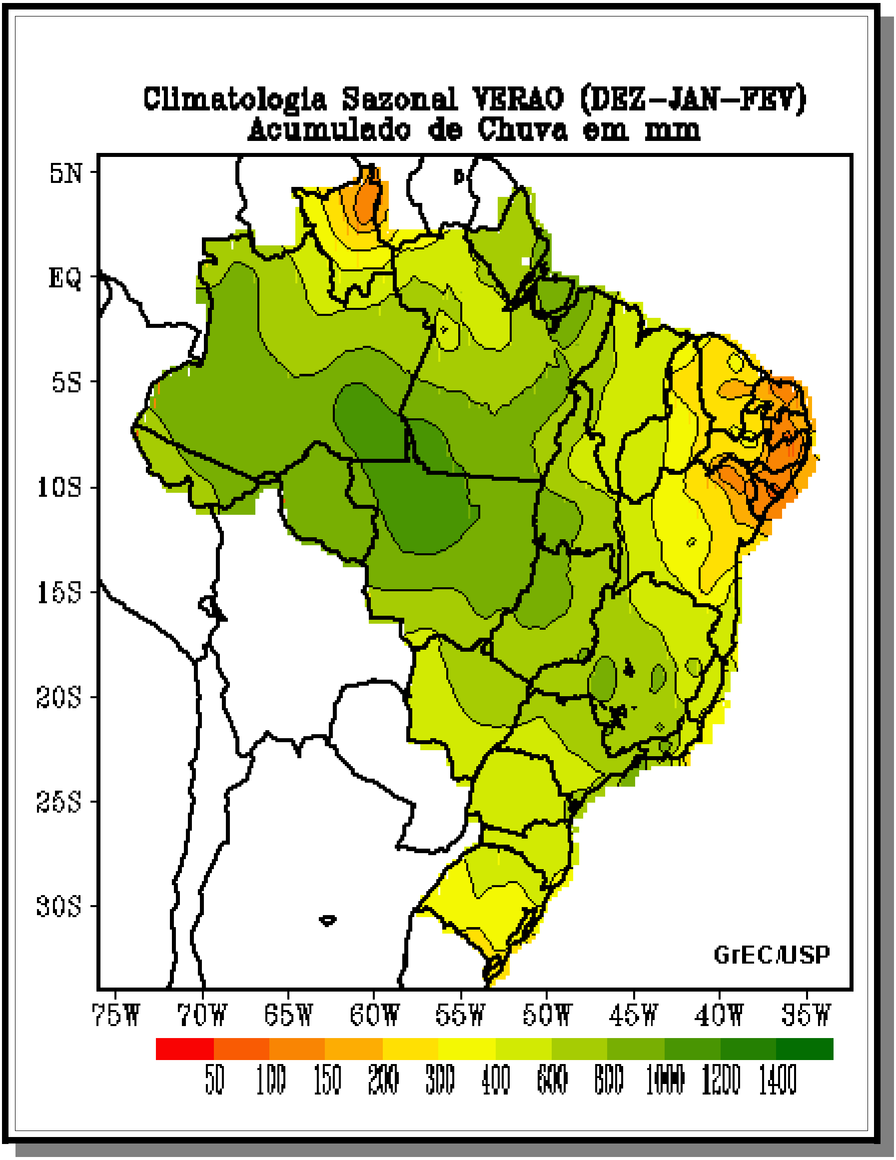
3100

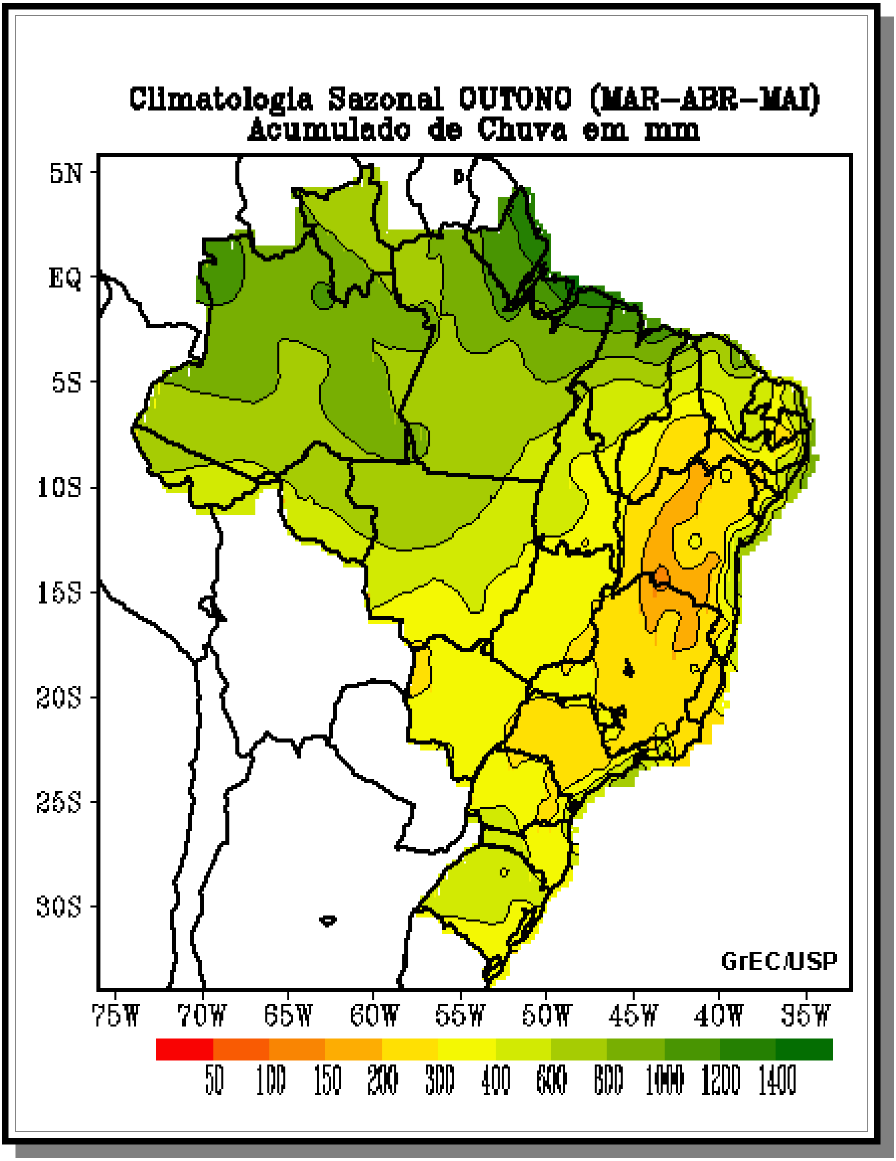

Climatologia Sazonal OUTONO (MAR-ABR-MAI)
Temperatura Media em Celsius
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
75W
70W
65W
60W
55W
50W
45W
40W
35W
GrEC/USP
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
29



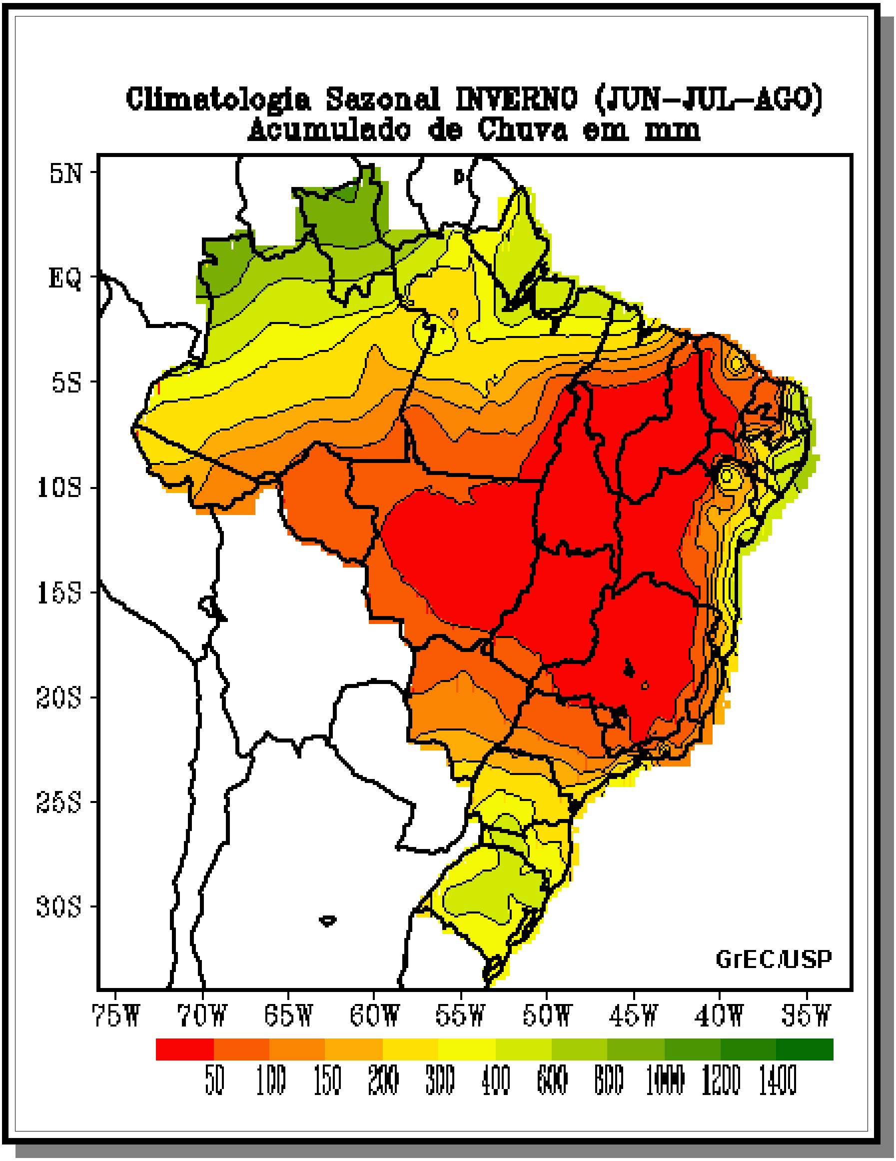
Climatologia Sazonal INVERNO (JUN-JUL-AGO)
Temperatura Media em Celsius
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
75W
70W
65W
60W
55W
50W
45W
40W
35W
GrEC/USP
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
29


Climatologia Sazonal PRIMAVERA (SET-OUT-NOV)
Acumulado de Chuva em mm
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
75W
70W
65W
60W
55W
50W
45W
40W
35W
GrEC/USP
50
100
150
200
300
400
600
800
1000
1200
1400


Climatologia Sazonal VERAO (DEZ-JAN-FEV)
Acumulado de Chuva em mm
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
75W 70W 65W 60W 55W 50W 45W 40W 35W
GrEC/USP
50 100 150 200 300 400 600 800 1000 1200 1400


Climatologia Sazonal OUTONO (MAR-ABR-MAI)
Acumulado de Chuva em mm
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
75W
70W
65W
60W
55W
50W
45W
40W
35W
50
100
150
200
300
400
600
800
1000
1200
1400
GrEC/USP

3115


Climatologia Sazonal INVERNO (JUN-JUL-AGO)
Acumulado de Chuva em mm
5N
EQ
5S
10S
15S
20S
25S
30S
75W 70W 65W 60W 55W 50W 45W 40W 35W
50 100 150 200 300 400 600 800 1000 1200 1400
GrEC/USP

Figuras A II - 1. Temperaturas médias e precipitações totais acumuladas por estações do ano de 1961 a 1980 no Brasil. ***[Fonte: Brasil/USP[1] São Paulo/IAG, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia apud GREC – Grupo de Estudos Climáticos – DCA/IAG/USP, 2009]***

As Figuras A II – 1 contém importantes dados históricos da climatologia sazonal brasileira com as ***temperaturas médias*** e ***precipitação total acumulada*** para cada estação do ano de 1961 a 1980, que sempre servirão de referência para futuras avaliações de alterações de nosso clima. O GREC – Grupo de Estudos Climáticos do Departamento de Ciências Atmosféricas do IAG – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP - Universidade de Sâo Paulo, através do sítio na internet no endereço http://www.grec.iag.usp.br/ possui relatórios climatológicos mensais desde setembro de 1998, bem como prepara de maneira contínua estes relatórios, o que nos permite, entre outras finalidades, até mesmo avaliar mudanças climáticas.

Modelos experimentais, alimentados com dados em computadores, atualmente considerados muito confiáveis, permitem prever as consequências do aquecimento global. É incorreto pensar que erros nestes modelos computacionais poderiam mascarar mudanças benéficas, uma vez que o padrão climático correto, que

sustenta a vida no planeta tal qual o conhecemos, é o do ambiente não perturbado: qualquer modificação das condições ambientais naturais coloca em risco a vida na Terra tal qual está estabelecida até o presente momento. Entretanto, inversamente, podemos afirmar que, por melhores que sejam as qualidades dos dados fornecidos ao computador, bem como o programa utilizado e o próprio computador, as previsões das alterações climáticas não são perfeitas, de modo que existe a séria possibilidade dos efeitos reais do aquecimento global serem ainda piores do que o previsto, bem como não estão descartadas ocorrências climáticas imprevisíveis pelos computadores.

As consequências esperadas do aquecimento global, normalmente reconhecidas pela comunidade científica, são descritas a seguir, com dados aqui modificados em relação à fonte original de Jerry Mahlman *apud* Simon & DeFries (1992):

- **Grande Esfriamento da Estratosfera (camada da atmosfera de 12 a 50 km acima do solo):** a ação dos CFCs causa uma redução do O_3 estratosférico, havendo portanto menos absorção da radiação solar na estratosfera e, consequentemente, menos aquecimento. Também, maiores concentrações de gases-estufa aumentarão a perda de calor da radiação infravermelha da estratosfera. O resultado

destes dois efeitos provocará um resfriamento da estratosfera da ordem de 10 a 20 ºC;

- **Aquecimento da Troposfera (camada da atmosfera que vai de 0 a 11 km de altura):** com o acúmulo já existente de CO_2 e outros gases estufa desde 1860, houve um aumento de 0,5 a 1 ºC na temperatura média terrestre, sendo que, caso dobre a quantidade de CO_2 (ou seu efeito equivalente causado pelo acúmulo dos outros gases estufas somados), é estimado um aumento de temperatura de 1 a 5 ºC na superfície terrestre;

- **Aquecimento da Troposfera no Pólo Norte no Inverno:** é previsto que adquira o valor do triplo da temperatura média global aquecida, sendo estimado um aumento de 10 ºC;

- **Aumento da Precipitação nas Altas Latitudes do Hemisfério Norte:** com o aquecimento do clima, espera-se maior penetração de ar quente e úmido no Pólo Norte, ocasionando aumento das precipitações e maior vazão dos rios nas latitudes altas;

- **Aumento da Precipitação Média Global:** o aquecimento da troposfera trará uma maior quantidade de evaporação nos oceanos, mares, rios e lagos, acarretando maior ocorrência de chuvas. De fato,

nos últimos anos, temos visto quase que diariamente nos noticiários as chuvas devastadoras que assolam as diversas partes do mundo, inclusive o Brasil, causando enchentes catastróficas;

- **Aumento das Tempestades Tropicais:** surgiriam em decorrência da atmosfera mais quente e úmida, aumentando em frequência e intensidade, do tipo dos furacões. Atualmente, os noticiários tem mostrado estas ocorrências catastróficas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, aparentemente com frequências e intensidades incomuns relativamente a nossa história climática;

- **Verão Continental mais Quente e Árido:** é esperada uma diminuição da umidade do solo nas latitudes médias no verão;

- **Mudanças na Vegetação Regional:** decorrentes do aumento de temperatura e precipitações, sendo esperado mudanças de longo prazo. Cada ecossistema terrestre é complexo e delicado, sendo bastante difícil prever as alterações que cada um sofrerá; em adição, como os ecossistemas também influenciam o clima do planeta, com suas modificações é esperado novo e imprevisível impacto sobre o clima da Terra;

- **Redução do Gelo no Mar Polar do Hemisfério Norte:** com o aquecimento do clima, é esperado menos gelo no mar nas altas latitudes do Hemisfério Norte, o que já está constatado, conforme descreveremos mais adiante;

- **Elevação do Nível Médio dos Oceanos:** ocorre em decorrência da expansão da água marinha em resposta ao aquecimento global. O problema, já constatado, será descrito mais adiante.

Pachauri (IPCC, pág. 6 do documento original, 17/11/2007), descreve os eventos extremos decorrentes do aquecimento global (tradução pelo autor deste livro):

- A frequência de precipitações fortes tem aumentado na maioria das áreas;

- De 1900 a 2005, a precipitação aumentou significativamente nas partes ocidentais da América do Norte e da América do Sul, na Europa setentrional e na Ásia central e setentrional mas declinou em Sahel, no Mediterrâneo, na África meridional e partes da Ásia meridional;

- Globalmente, a área afetada por seca tem provavelmente aumentado desde os anos 1970.

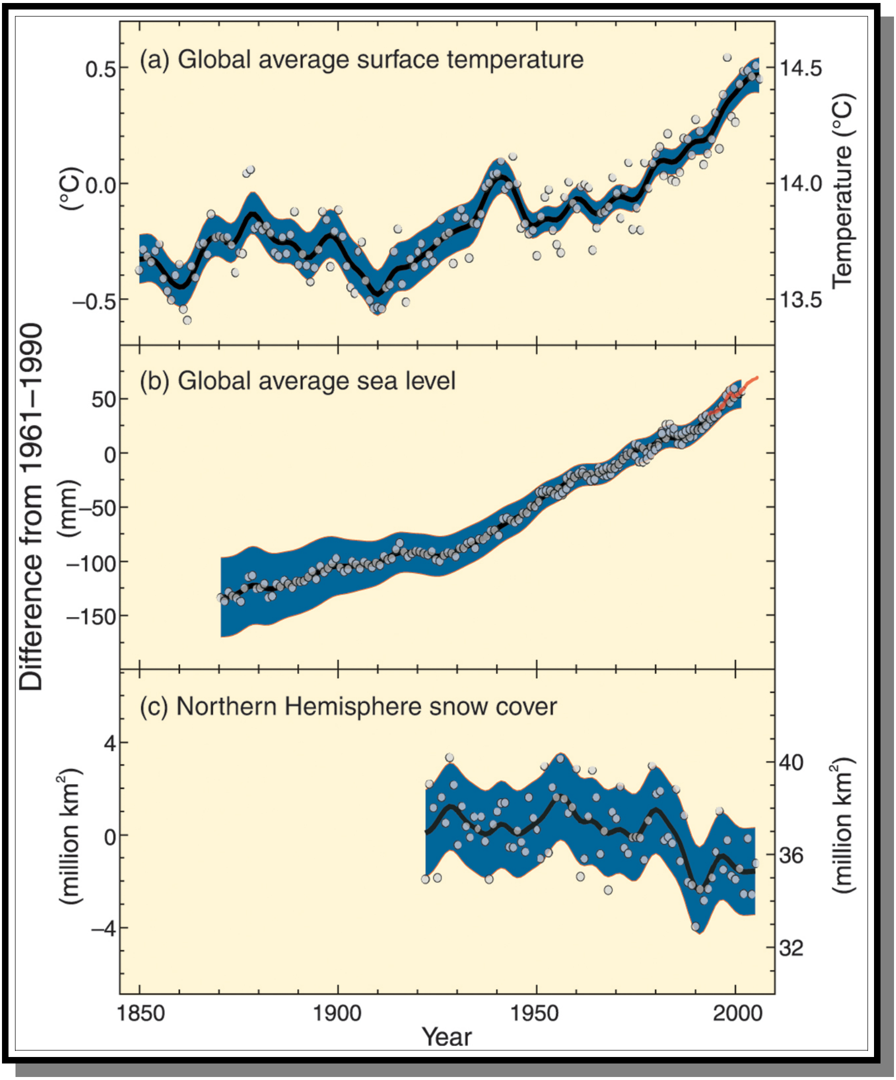


Figura A II - 2. Explicações e legendas originais da fonte que acompanham a figura: ***Warming of the climate system is unequivocal. Increasing global air and ocean temperatures. Rising global average sea***

level. Reductions of snow and ice. (a) Global average surface temperature. Temperature (ºC). Difference from 1961-1990. (mm). (b) Global average sea level. (c) Northern Hemisphere snow cover. (million km²). Year. **Tradução (pelo autor deste livro): O aquecimento do sistema climático é inequívoco. Aumento das temperaturas globais da atmosfera e do oceano. Elevação da média global do nível oceânico. Redução da neve e gelo. (a) Média global da temperatura superficial. Temperatura (ºC). Diferença 1961-1990. (mm). (b) Média global do nível oceânico. (c) Cobertura de neve do Hemisfério do Norte. (milhões de km²). Ano.** ***[Fonte: Pachauri (IPCC), página 5 do documento original, 17/11/2007, reproduzido de acordo com autorização e normas exigidas pelo IPCC]***

Sobre o incremento na elevação do nível oceânico em decorrência do aquecimento global, Pachauri (IPCC, pág. 7 do documento original, 17/11/2007) relata (tradução pelo autor deste livro):

- A taxa de elevação do nível oceânico médio global tem aumentado de 1,8 mm/ano a 3,1 mm/ano de 1961 a 1993;

- As razões para elevação do nível oceânico tem sido devidas à expansão termal, derretimento das geleiras, coberturas de gelo e placas de gelo polares;

- A elevação do nível oceânico projetada para o final do século 21 será de 18 a 59 cm.

Segundo Pachauri (IPCC, pág. 8 do documento original, 17/11/2007), o aquecimento antropogênico leva a alguns impactos que são abruptos ou irreversíveis (tradução pelo autor deste livro):

- Perda parcial de placas de gelo sobre a terra polar gelada pode implicar:
  - metros de elevação do nível oceânico;
  - mudanças maiores no litoral e inundação de áreas baixas;
  - grandes efeitos nos deltas de rios e ilhas baixas;

- Aproximadamente 20 a 30% das espécies taxadas até agora estão provavelmente com risco incrementado de extinção;

- Mudanças persistentes e de larga escala na *Meridional Overturning Circulation (MOC) (nota do autor: explicada no próximo parágrafo)* terão impactos na produtividade do ecossistema marinho, pescarias, captura de CO_2 pelos oceanos e pela vegetação terrestre.

Os oceanos cobrem aproximadamente 71% do globo terrestre e abrigam 97% da água do planeta. A *Meridional Overturning Circulation (MOC)*, cuja

tradução ao pé da letra é “Circulação do Revirado Meridional”, também conhecida como *circulação termohalina*, é uma rede global de correntes oceânicas conduzidas por variações de densidade da água (*density-driven*) que, entre inúmeras funções ecológicas, transportam, por exemplo, uma quantidade tremenda de calor para o norte, guardando o Atlântico Norte e muito da Europa acima de 5 ºC, particularmente no inverno. A *MOC* também é denominada *The Great Ocean Conveyor Belt* (que pode ser traduzida como: “A Grande Correia Transportadora Oceânica” ou “O Grande Cinturão de Transporte Oceânico”), representado na Figura A II - 3, descrito por Broecker (1987). Estudos no sedimento do Oceano Atlântico Norte tem revelado que a *MOC* foi interrompida várias vezes no passado, e que muitas destas interrupções coincidem com os eventos de mudanças climáticas abruptas notadas nos núcleos de gelo da Groenlândia. Ainda, uma hipótese de boa aceitação científica é de que mudanças na *MOC*, no passado, foram provavelmente uma das causas (embora não a única, é preciso frisar) do abrupto aquecimento global que trouxe o término da última glaciação. Por isto, acredita-se que uma alteração ou interrupção da *MOC* pelas atuais atividades poluidoras humanas pode contribuir de maneira seríssima para alterações do clima da Terra, bem como para o desequilíbrio de toda a riqueza de vida existente no ecossistema marinho.

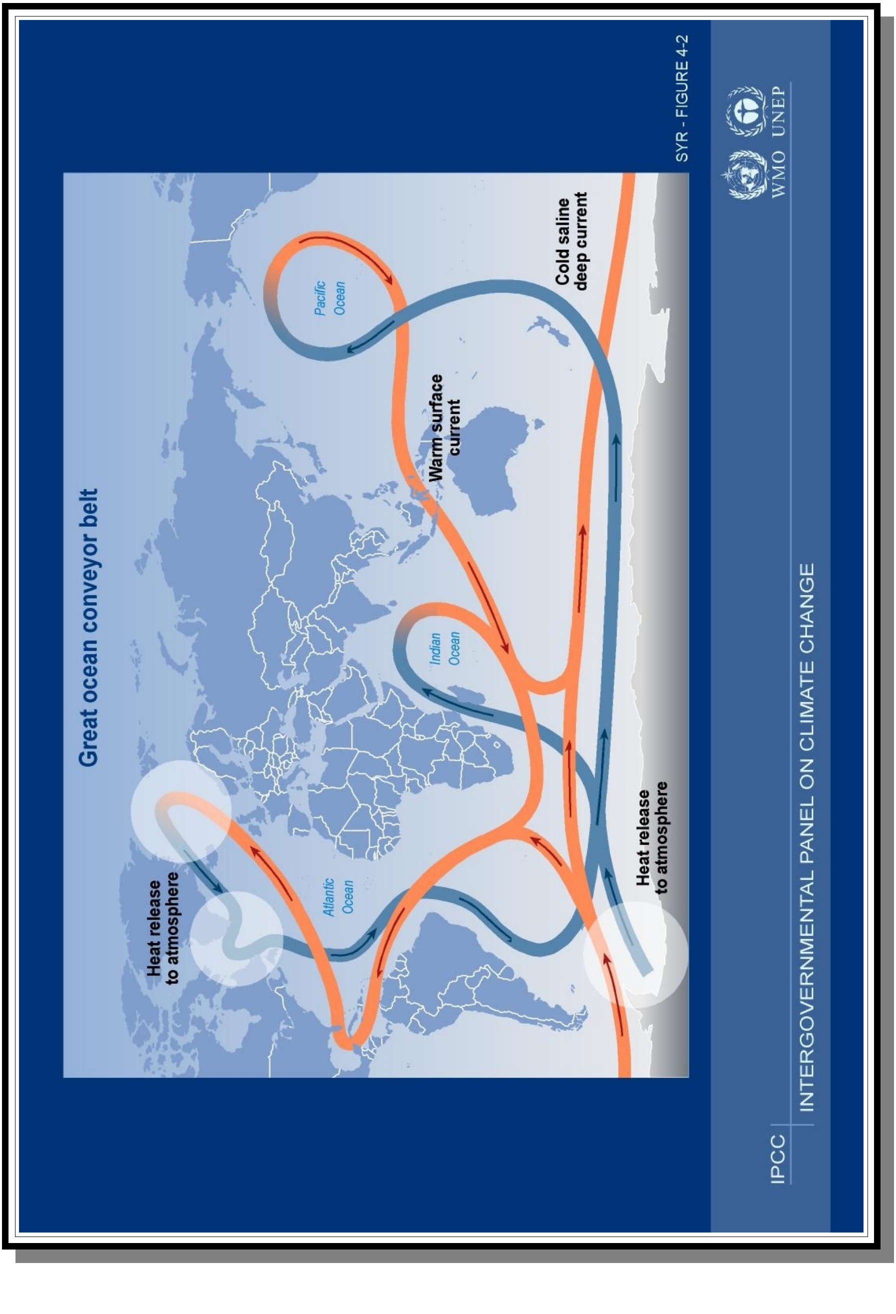

Great ocean conveyor belt
Heat release to atmosphere
Atlantic Ocean
Indian Ocean
Pacific Ocean
Warm surface current
Cold saline deep current
Heat release to atmosphere
SYR - FIGURE 4-2
WMO UNEP
IPCC
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

Figura A II - 3. Legendas originais da fonte que acompanham a figura: *The thermohaline circulation could be disrupted by climate change. Great ocean conveyor belt. Heat release to atmosphere. Heat release to atmosphere. Warm surface current. Cold saline deep current.* Tradução (pelo autor deste livro): A circulação termohalina pôde ser rompida por mudança climática. Grande Correia Transportadora Oceânica. Libertação de calor para a atmosfera. Libertação de calor para atmosfera. Corrente de superfície aquecida. Corrente profunda salina fria. *[Fontes: Griggs (IPCC), página 16 do documento original, 31/10/2001 e Climate Change 2001 - Synthesis Report (IPCC), Figure 4-2 (04.18.jpg), 2001, reproduzidos de acordo com autorização e normas exigidas pelo IPCC]*

Uma prova inequívoca do aquecimento global que já estamos vivenciando são as fotografias do pico Chacaltaya, de 1940 a 2005, apresentadas pelo Working Group II do IPCC (pág. 6 do documento original, 6/4/2007), na Figura A II - 4. As 4 fotografias, lado a lado, mostram a mesma área em 1940, 1982, 1996 e 2005. A dimensão da área originalmente coberta com gelo, em 1940, é representada nas demais figuras pela linha pontilhada: como as fotos foram feitas a partir de distâncias diferentes, as linhas pontilhadas guardam fidelidade proporcional em relação à

fotografia de 1940. Como se vê, o gelo que originalmente cobria a área em 1940 praticamente desapareceu em 2005. Trata-se de uma constatação clara do aquecimento global.

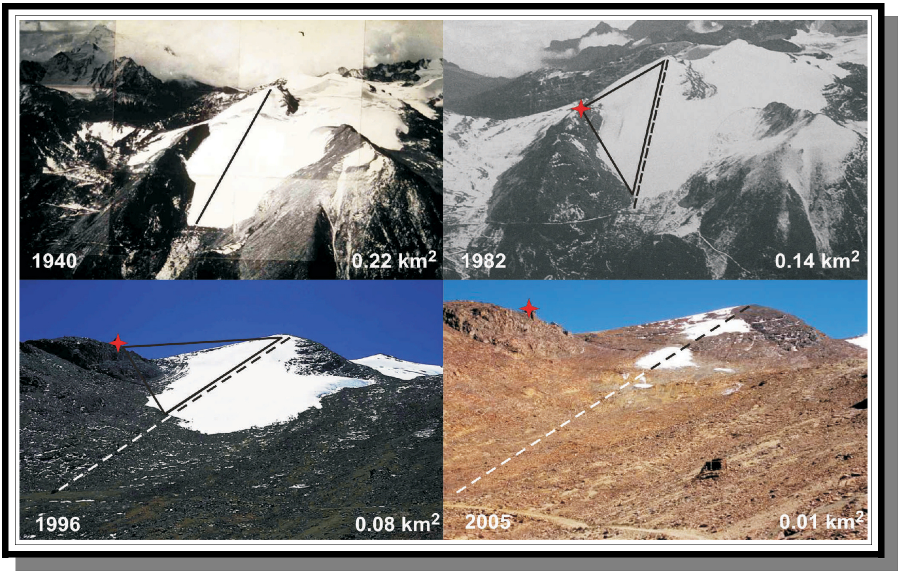


Figura A II - 4. Legenda original da fonte que acompanha a figura: *Areal extent of Chacaltaya Glacier, Bolivia, from 1940 to 2005.* Tradução (pelo autor deste livro): Dimensão da área de gelo do Chacaltaya, Bolívia, de 1940 a 2005. *[Fonte: Working Group II (IPCC), página 6 do documento original, 6/4/2007, reproduzido de acordo com autorização e normas exigidas pelo IPCC]*

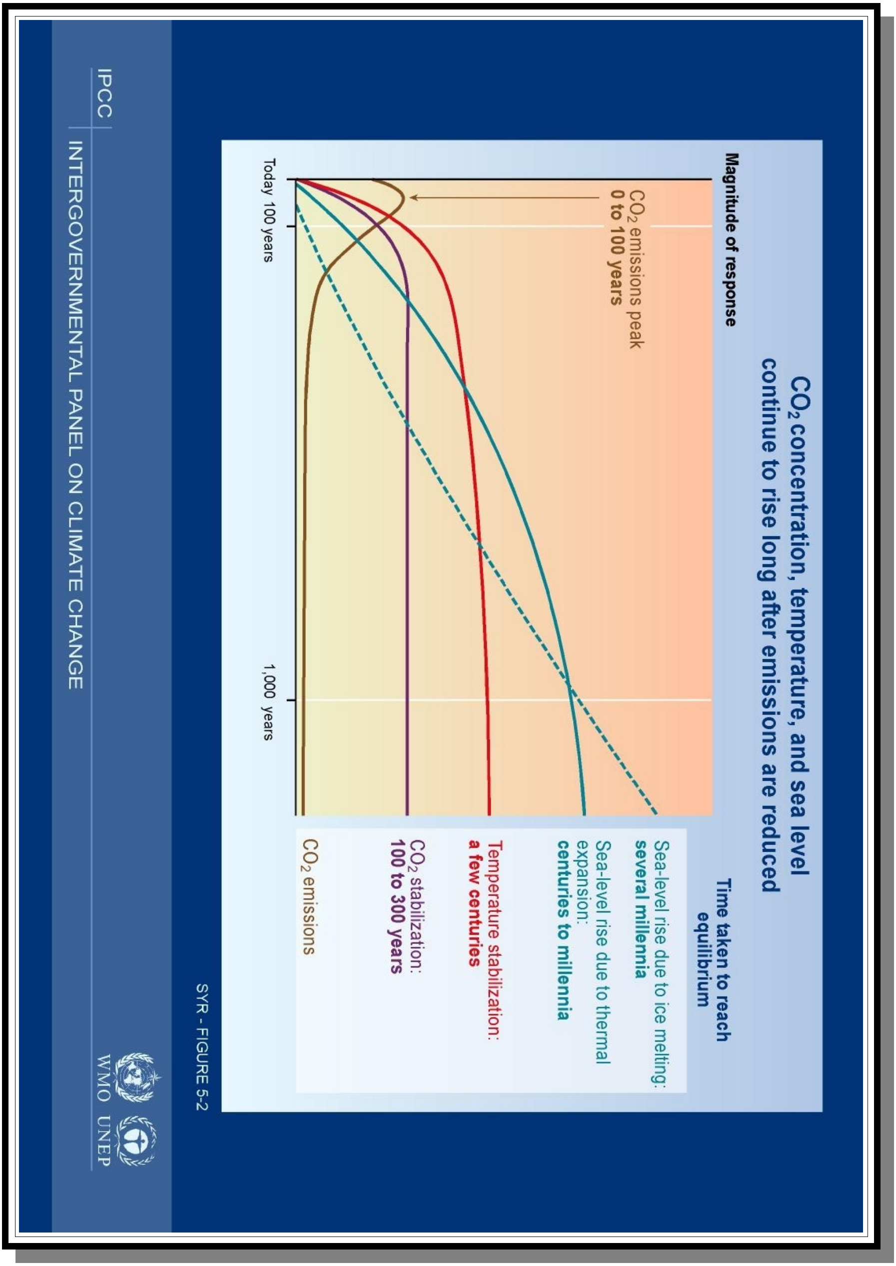

CO_2 concentration, temperature, and sea level continue to rise long after emissions are reduced
Magnitude of response
CO_2 emissions peak 0 to 100 years
Today 100 years
1,000 years
Time taken to reach equilibrium
Sea-level rise due to ice melting: several millennia
Sea-level rise due to thermal expansion: centuries to millennia
Temperature stabilization: a few centuries
CO_2 stabilization: 100 to 300 years
CO_2 emissions
SYR - FIGURE 5-2
IPCC
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE
WMO UNEP

Figura A II - 5. Legendas originais da fonte que acompanham a figura: *CO_2 concentration, temperature, and sea level continue to rise long after emissions are reduced. Magnitude of response. CO_2 emissions peak. 0 to 100 years. Today. 100 years. 1.000 years. Time taken to reach equilibrium. Sea-level rise due to ice melting: several millennia. Sea-level rise due to thermal expansion: centuries to millennia. Temperature stabilization: a few centuries. CO_2 stabilization: 100 to 300 years. CO_2 emissions.* Tradução (pelo autor deste livro): Concentração de CO_2, temperatura e nível oceânico continuam a elevar-se por muito tempo depois que as emissões são reduzidas. Magnitude de resposta. Pico de emissões de CO_2. 0 a 100 anos. Hoje. 100 anos. 1.000 anos. Tempo necessário para atingir o equilíbrio. Elevação do nível oceânico devido ao derretimento de gelo: vários milênios. Elevação do nível oceânico devido à expansão térmica: séculos a milênios. Estabilização da temperatura: a alguns séculos. Estabilização de CO_2: 100 a 300 anos. Emissões de CO_2. *[Fontes: Griggs (IPCC), página 6 do documento original, 31/10/2001 e Climate Change 2001 - Synthesis Report (IPCC), Figure 5-2 (01.17.jpg), 2001, reproduzidos de acordo com autorização e normas exigidas pelo IPCC]*

As claras legendas da Figura A II - 5 dispensam maiores explicações sobre a gravidade da

situação atual. Como demonstra o gráfico, mesmo que sejam diminuídas as emissões de CO_2 a níveis seguros neste momento atual, já estão garantidos seríssimos problemas a serem resolvidos, para a manutenção da vida na Terra, para nossos filhos, netos, bisnetos e muitas gerações vindouras; entretanto, caso medidas urgentes não sejam imediatamente adotadas, bem... sem embargo, a sobrevivência do homem na Terra, para um futuro muito próximo, estará seriamente ameaçada!

3. PROTOCOLO DE KYOTO

Este tratado internacional foi criado em 1997 em Kyoto (Japão) e entraria em vigor após a adesão de no mínimo 55 países desde que estes fossem responsáveis por no mínimo 55% das emissões de poluentes de efeito estufa: isto foi conseguido ao final de 2004 com a assinatura da Rússia.

Os Estados Unidos, bem como a Austrália, não aderiram ao Protocolo de Kyoto. Os E.UA., segundo estatísticas do ano de 2005, são responsáveis, sozinhos, por 36,1% das emissões mundiais dos gases formadores do efeito estufa! A Rússia, que assinou o acordo, é responsável pela emissão de 17,4%.

Assim, o tratado, ratificado por 141 países, que juntos representam 61% das emissões de gases de

efeito estufa, entrou em vigor em 16/2/2005: a partir daquela data, os países signatários começaram a desenvolver projetos e realizar mudanças estruturais para reduzir a emissão dos gases de efeito estufa em 5,2% abaixo dos níveis de 1990; esta meta deve ser atingida até 2008-2012.

O Protocolo de Kyoto obriga legalmente os participantes do acordo a reduzirem a emissão de seis gases: dióxido de carbono (CO_2) , metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbono (HFC), perfluorcarbono (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).

Países em desenvolvimento como o Brasil, China e Índia, apesar de serem atualmente consideráveis poluidores, não terão metas de redução a serem cumpridas, pois historicamente não provocaram o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera. O Brasil responde (dados de 1990 a 1994) pela emissão anual de 1 bilhão de toneladas de gás carbônico, 11 milhões de toneladas de metano e 500 mil toneladas de óxido nitroso.

Entre as ações a serem desenvolvidas por todos os países signatários, podemos citar a necessidade de: modificação dos sistemas de geração de energia, utilizando fontes renováveis e menos poluentes [como por exemplo geradores eólicos,

geradores solares (energia fotovoltaica), geradores a partir da energia dos mares e oceanos (energia das ondas, energia das marés e energia térmica dos oceanos), geradores a partir da energia geotérmica, etc.]; produção de máquinas de quaisquer tipos, aparelhos eletrodomésticos e lâmpadas que consumam menos energia elétrica dos que os atuais (pois quanto mais energia elétrica precisamos gerar para alimentar uma cidade, mais poluição é gerada no meio-ambiente); reestruturação do sistema de transportes, buscando sua otimização, bem como o uso de motores menos poluentes; instalação de equipamentos antipoluição em indústrias, independentemente de seu porte; instalação de equipamentos antipoluição em veículos automotores; preservação e restauração de florestas (que absorvem o gás carbônico da atmosfera); eliminação de entraves econômicos e de mercado que atrapalhem os objetivos do Protocolo de Kyoto; etc.

4. PROTOCOLO DE BALI

De 3 a 14 de dezembro de 2007 ocorreu a 13ª Conferência de Mudança Climática em Bali, na Indonésia.

Enquanto o Protocolo de Kyoto definiu as metas de redução de emissão de gases causadores do efeito estufa em 5,2% abaixo dos níveis de 1990,

metas estas que valerão até 2012, o Protocolo de Bali tentou estabelecer as novas metas a partir de 2012, desejando aprovar a proposta feita pela União Europeia, que seria de redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa, até 2020, entre 25% e 40% e, até 2050, em 50% em relação aos níveis de 1990, propostas estas que foram vetadas por E.U.A., Canadá e Japão, de modo que, assim, não houve metas concretas de redução estabelecidas na Conferência de Bali.

Apesar disto, os E.U.A. mudaram sua posição em relação ao problema do aquecimento global, e reconheceram a necessidade da adoção de medidas para reduzir a emissão de poluentes a fim de evitar o aquecimento do planeta.

Fato muito positivo foi o grau de maturidade demonstrado pelos participantes nas discussões da Conferência de Bali ao se aceitar como verdade científica as conclusões do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática), formado por cientistas de todo o mundo, que concluiu que o ***aquecimento global se deve à atividade humana*** e ***será irreversível se não combatido a tempo***.

Na Conferência de Bali, houve o compromisso, também dos países pobres ou em desenvolvimento, de reduzir suas emissões de gases

poluentes, ou seja, em outras palavras, a partir de 2012, países como Brasil, China e Índia, que não tiveram metas de redução de emissão de gases no Protocolo de Kyoto, passarão também a ter metas a cumprir. O Brasil propôs estabelecer metas internas de redução de emissão de gases *mensuráveis*, *reportáveis* e *verificáveis*, para um determinado nível de crescimento esperado do país, dando clareza científica para o resultado das medidas que virá a adotar. Ainda, o Brasil foi escolhido para presidir o grupo de diálogo no 1.º ano de implementação das medidas definidas em Bali.

Durante a Conferência de Bali, o Brasil também propôs como meta voluntária o controle de seu desmatamento, demonstrando que a preservação das florestas é um importantíssimo fator para evitar o aquecimento global.

Também foi proposto pelo Brasil, durante a Conferência, que os países ricos e empresas criem um fundo voluntário com recursos destinados à preservação das florestas dos países pobres ou em desenvolvimento, uma vez que esta conservação florestal apresenta elevados custos de manutenção e fiscalização, custos estes que devem ser repartidos com a comunidade internacional, pois todo o planeta será beneficiado com a preservação das áreas naturais ainda existentes no mundo.

Em Bali, o Brasil também assumiu que realizará transferência de sua tecnologia em preservação de florestas para os países do Hemisfério Sul, uma vez que detemos grande experiência acumulada nas atividades de preservação da Amazônia.

Foi acordado na Conferência de Bali que o novo Protocolo de combate às alterações climáticas deverá ser concluído ao final de 2009. O resultado da Conferência de Bali denominou-se “Mapa do Caminho de Bali”.

5. REUNIÃO DO G8 DE JULHO DE 2008

Em 7/7/2008, o G8 (grupo dos 7 países mais industrializados do mundo e a Rússia) iniciou seu encontro de cúpula em Toyako, na ilha japonesa de Hokkaido. Os E.U.A. abandonaram sua postura de bloqueio à formação de um consenso para a proteção do clima. Nesta reunião, o G8 decidiu reduzir as emissões de dióxido de carbono à metade até 2050, sem fazer referência, entretanto, a que ano será tomado como base para esta redução (o Protocolo de Kyoto se reporta ao ano de 1990).

6. A CONFERÊNCIA DE POZNAN

De 1 a 12/12/2008, ocorreu a 14.ª Conferência

das Partes sobre o Clima (COP-14) em Poznan na Polônia. O encontro reuniu cerca de 190 países. O objetivo da conferência teve a intenção de fortalecer as negociações internacionais acerca do tema, uma vez que a próxima reunião, a COP-15, marcada para dezembro de 2009, a ser realizada em Copenhague, na Dinamarca, representa o prazo final, conforme determinado em Bali, para se firmar um novo acordo global que sucederá o Protocolo de Kyoto a partir de 2012 para evitar alterações no clima da Terra.

O desmatamento é a principal fonte de gases estufa no Brasil, responsável por cerca de 75% do total de suas emissões. O governo brasileiro anunciou em 1/12/2008 seu Plano Nacional sobre Mudança do Clima, que visa reduzir a devastação da floresta amazônica em mais de 70% até 2017. O tamanho dos desmatamentos deverá cair de 19 mil km^2 (média dos últimos 10 anos) para cerca de 5 mil km^2. O Plano trabalhará com metas escalonadas, com redução de 40% entre 2006 e 2009 e quedas posteriores de 30% calculadas com base em novas médias a cada 4 anos. Com isso, será evitada a emissão de 4,8 bilhões de toneladas de dióxido de carbono. Outras ações também estão previstas nas metas deste Plano, como por exemplo: medidas de eficiência energética; aumento da oferta da eletricidade produzida por co-geração, principalmente com o bagaço de cana-de-açúcar;

aumento de 11% do uso do etanol nos próximos 10 anos; antecipação de 2013 para 2010 da mistura obrigatória de 5% de biodiesel ao diesel; substituição de cerca de 1 milhão de geladeiras que ainda utilizam CFC, e; duplicação da área de florestas plantadas no país. Todos estes dados são da Agência Brasil / EBC – Empresa Brasil de Comunicação (2008).

Foi estabelecida em Poznan a criação de um Fundo de Adaptação às mudanças climáticas para ajuda aos países em desenvolvimento mais vulneráveis ao aquecimento global e que já estão sendo afetados por ele, como por exemplo os situados em pequenas ilhas.

Poznan também estabeleceu que novas reuniões deverão ocorrer ao longo de 2009, sendo que, em junho, deverá estar já criado o primeiro esboço do acordo a ser celebrado em Copenhague na COP-15.

7. EFEITO ESTUFA: COMPARAÇÃO ENTRE VÊNUS E TERRA

O planeta Vênus é conhecido popularmente, no Brasil, como “Estrela d'Alva” ou “Estrela do Pastor”. É um dos astros mais reluzentes, e em nosso céu noturno somente a Lua se nos apresenta mais brilhante. No período de claridade é possível visualizá--lo com o auxílio de telescópios ou mesmo de

binóculos, desde que o astro não esteja visualmente próximo do Sol (Brasil/USP São Carlos, 2008).



Figura A II - 6. Fotografias da Terra e de Vênus, em comparação de tamanhos. ***(Fonte: Brasil/USP São Carlos, 2008)***

Como se verifica na Figura A II - 6, o planeta 3660
Vênus tem aproximadamente o mesmo tamanho da Terra. Entretanto, as condições ambientais para a existência de vida são completamente distintas entre os dois planetas. Vejamos, a seguir, porque isto ocorre.

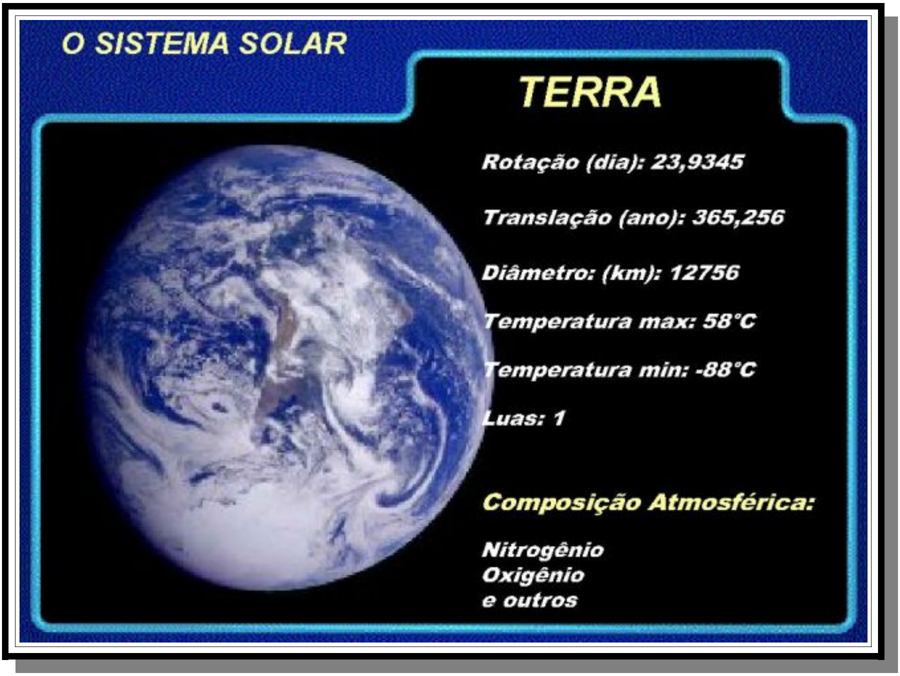


Figura A II - 7. Fotografia da Terra, acompanhada de alguns de seus dados astronômicos e atmosféricos. ***(Fonte: Brasil/USP São Carlos, 2008)***

A atmosfera terrestre tem como seus principais componentes o nitrogênio e o oxigênio. Pela sua composição atmosférica e temperatura, a Terra é capaz de abrigar toda a vida atual do planeta.

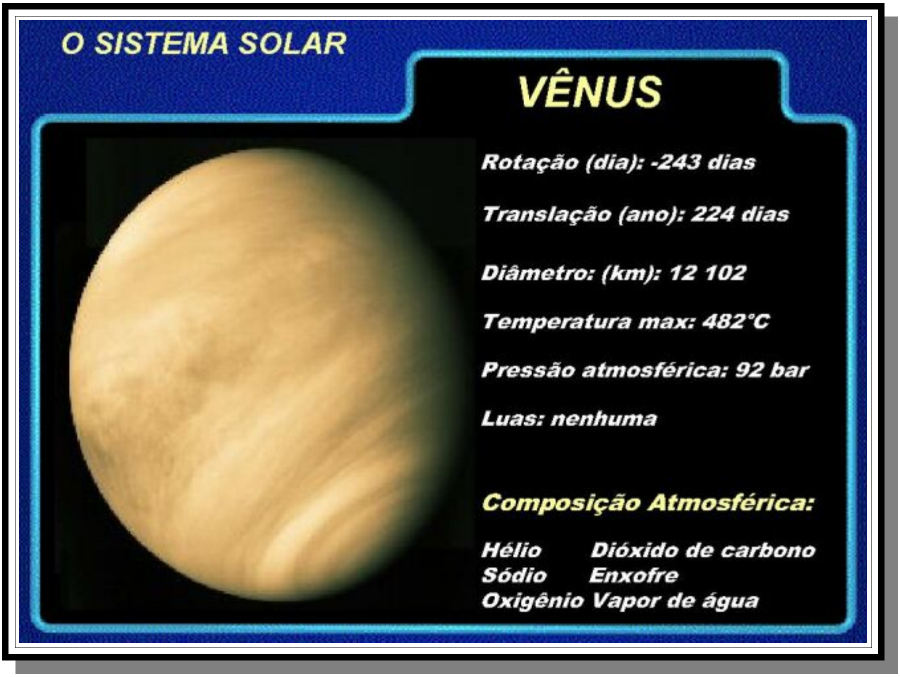


Figura A II - 8. Fotografia de Vênus, acompanhada de alguns de seus dados astronômicos e atmosféricos. ***(Fonte: Brasil/USP São Carlos, 2008)***

A atmosfera de Vênus tem como seu principal componente o gás carbônico (CO_2), o que lhe provoca um enorme efeito estufa, fazendo com que Vênus seja o planeta mais quente do sistema solar, apresentando, em sua linha do equador, a impressionante temperatura de 460 ºC! Esta temperatura é mais elevada que a do planeta Mercúrio, apesar de Vênus estar mais afastado do Sol. A causa disto é que a radiação visível solar aquece a superfície de Vênus, a qual, então aquecida,

emite radiação infravermelha. Toda esta radiação infravermelha é absorvida pela grande quantidade de CO_2 atmosférico de Vênus, causando-lhe um gigantesco efeito estufa (Brasil/USP São Carlos, 2008).

Bem, a Terra tem praticamente o mesmo tamanho de Vênus, e aquele planeta apresenta um efeito estufa tão enorme que impossibilita a presença de vida como a da Terra. Caso não sejam adotadas medidas que diminuam a poluição gerada pelas atividades humanas a níveis que não causem aquecimento global, a vida do ser humano e a de todo planeta Terra está ameaçada: basta olharmos para Vênus, nosso planeta vizinho, e verificar a que ponto pode chegar o aquecimento resultante de um gigantesco efeito estufa!

REFERÊNCIAS

BAINES, J. — *Chuva ácida*. 2.ª ed., São Paulo, Ed. Scipione, 1993.

BRASIL. AGÊNCIA BRASIL / EBC – EMPRESA BRASIL DE COMUNICAÇÃO – Sítio na Internet no endereço http://www.agenciabrasil.gov.br; notícias de 1/12/2008 nos endereços http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2008/12/01/materia.2008-12-01.6252036765/view e http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2008/12/01/materia.2008-12-01.9054187116/view, 2008.

BRASIL. CETESB[(1)] (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) – Sítio na Internet no endereço http://www.cetesb.sp.gov.br . Edição eletrônica do documento *"Resolução SMA 42, de 26/06/2008 – ÁREAS SATURADAS. DECRETO ESTADUAL 52.469/07. RELAÇÃO DE MUNICÍPIOS E DADOS DE MONITORAMENTO."*, em formato PDF, disponível na Internet no endereço:

http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/classificaco_municipios_2007.pdf, 2009.

BRASIL. CETESB[2] (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) – Sítio na Internet no endereço http://www.cetesb.sp.gov.br. Página na Internet no endereço http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.asp, 2009.

BRASIL. MME (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA) / EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – *Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007.* Rio de Janeiro, 2008. Edição eletrônica, em formato PDF, disponível na Internet no endereço: http://www.mme.gov.br/download.do?attachmentId=17433&download, 2009.

BRASIL. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CAETANO DO SUL SP – Sítio na Internet no endereço http://www.saocaetanodosul.sp.gov.br, 2009.

BRASIL. USP (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Carlos SP) — Sítio na Internet no endereço http://educar.sc.usp.br/quimapoio/Chuvaacida.html, 2005.

BRASIL. USP (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Carlos SP) — Páginas na Internet nos endereços http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/terra.html e http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/venus.html, 2008.

BRASIL. USP[1] (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo SP) / IAG (Instituto Astronômico e Geofísico). GREC – Grupo de Estudos Climáticos. Sítios na Internet nos endereços http://www.iag.usp.br e http://www.grec.iag.usp.br/, sendo que as figuras estão em http://www.grec.iag.usp.br/climatologia/, 2009.

BRASIL. USP[2] (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo SP) / IAG (Instituto Astronômico e Geofísico). MASTER – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais. Sítios na Internet nos endereços http://www.iag.usp.br e http://master.iag.usp.br, sendo que este último possui o aviso "Atenção: As informações contidas neste *site* são geradas de maneira automática sem qualquer controle de qualidade regular. Não nos responsabilizamos pela utilização destas informações!", 2009.

CAPE, J. N.; SHEPPARD, L. J.; BINNIE J. & DICKINSON, A. L. — Enhancement of the dry deposition of sulphur dioxide to a forest in the presence of ammonia. *Atmospheric Environment* 32 (3): 519 - 524, 1998.

CLARK, K. L.; NADKARNI, N. M.; SCHAEFER, D. & GHOLZ, H. L. — Cloud water and precipitation chemistry in a tropical montane forest, Monteverde, Costa Rica. *Atmospheric Environment* 32 (9): 1595 - 1603, 1998.

CLIMATE CHANGE 2001 – SYNTHESIS REPORT (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) – Imagens disponíveis na internet em 2008 nos endereços: http://www.ipcc.ch/graphics/graphics/2001syr/large/01.17.jpg e http://www.ipcc.ch/graphics/graphics/2001syr/large/04.18.jpg, 2001.

FELLENBERG, G. — *Introdução aos problemas da poluição ambiental*. São Paulo, E.P.U., 1980.

GOULD, R. — *The science of acid rain*. Boston, Birkhäuser Boston, 1985.

GRIGGS, D. (*Director, Hadley Center, United Kingdom – Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) *– Climate Change: 2001 – IPCC Synthesis Report – UNFCCC – 7th Meeting of the Conference of the Parties – Marrakech, Morrocco – 31 October 2001 – Part III – David Griggs – Inertia in climate, ecological and socio-economic systems – Impact of stabilization scenarios on climate and corresponding impacts – Abrupt, high impact threshold/ non-linear events.* Apresentação disponível na Internet em 2008 no endereço http://www.ipcc.ch/pdf/presentations/briefing-cop7/part3.ppt, 31/10/2001.

HOEK, G.; MENNEN, M. G.; ALLEN, G. A.; HOFSCHREUDER P. & MEULEN, T. van der — Concentrations of acidic air pollutants in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 30 (18): 3141 - 3150, 1996.

HUMERES, E. — A chuva que não queremos. *Ciência Hoje Volume Especial Eco-Brasil*: 15 - 17, 1992.

LEINZ, V. & AMARAL, S. E. do — *Geologia Geral*. 11.ª ed. rev., São Paulo, Ed. Nacional, 1989.

MACKENZIE, J. J. & EL-ASHRY, M. T. — *Air pollution's toll onf forests and crops*. New Haven and London, Yale University Press, 1989.

ODUM, E. P. — *Ecologia*. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1988.

PACHAURI, DR. R K (*Chairman Intergorvenmental Panel on Climate Change – IPCC*) – *IPCC Fourth Assessment Report. Synthesis Report. Press Presentation, Saturday, 17 November 2007, Valencia, Spain, 27th Session of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (*Valencia, 12-17 November 2007*). Apresentação disponível na Internet em 2008 no endereço http://www.ipcc.ch/pdf/presentations/valencia-2007-11/pachauri-17-november-2007.pdf, 17/11/2007.

RYABOSHAPKO, A.; GALLARDO, L; KJELLSTRÖM, E.; GROMOV, S.; PARAMONOV, S.; AFINOGENOVA, O. & RODHE, H. — Balances of oxidized sulfur and nitrogen over the former Soviet Union territory. *Atmospheric Environment* 32 (4): 647 - 658, 1998.

SIMON, C. & DEFRIES, R. S. — *Uma terra, um futuro; o impacto das mudanças ambientais na*

atmosfera, terra e água. São Paulo, Makron Books, 1992.

USA. EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) — Sítio na Internet no endereço http://www.epa.gov/acidrain, 1998.

USA. EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) — Sítio na Internet no endereço http://www.epa.gov/acidrain/effects/health.html, (última atualização da página em 8/6/2007), 2007.

USA. EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) — *Site* na Internet no endereço http://www.epa.gov/acidrain/reducing/index.html, (última atualização da página em 13/3/2008), 2008.

WORKING GROUP II (*Intergovenmental Panel on Climate Change – IPCC*) – *IPCC Fourth Assessment. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* (*Brussels, 6 April 2007*). Apresentação disponível na internet em 2008 no endereço http://www.ipcc.ch/pdf/presentations/wg2-report-2007-04.pdf, 6/4/2007.

Redes Sociais e Contatos do Autor

Facebook

Perfil no Facebook

https://www.facebook.com/nilsonantoniobrena

Lindas Mensagens

https://www.facebook.com/lindas.mensagens.frases.proverbios

Google+

Perfil no Google+

https://plus.google.com/+NilsonBrenaOficial

Coleção Provérbios e Reflexões

https://plus.google.com/collection/ESP6nB

Coleção Aquecimento da Terra e Mudanças Climáticas

https://plus.google.com/collection/svU7nB

YouTube

https://www.youtube.com/NilsonBrena

https://www.youtube.com/NilsonBrenaOficial

Playlist Reflexões Religiosas por Nilson Brena

Playlist Saúde e Qualidade de Vida por Nilson Brena

Playlist Ecologia e Meio Ambiente por Nilson Brena

Playlist Utilitários e Temas Diversos por Nilson Brena

Playlist Tutoriais Linux por Nilson Brena

Twitter

https://twitter.com/nilsonbrena

https://twitter.com/nilson_brena

Blog

http://nilsonantoniobrena.blogspot.com.br

Website

http://www.nilsonantoniobrena.com.br

Contato direto com o autor por *e-mail*

nilson_antonio_brena@yahoo.com.br

"Devido ao elevado número de "e-mails" que eu possa eventualmente receber, há a possibilidade de ficar impedido de responder à sua mensagem. Agradeço muito por seu contato! Um forte e caloroso abraço!" (Nilson Antonio Brena)

Livros do autor

“A Chuva Ácida e os seus Efeitos sobre as Florestas — Apêndice: Consequências da Chuva Ácida à Saúde Humana”
1.ª Edição - 2002

ISBN 978-85-902458-1-0 (ANTIGO ISBN 85-902458-1-0)

2.ª Edição (Revista e Ampliada) (adicionado o Apêndice II: Efeito Estufa, Aquecimento da Terra e Mudanças Climáticas) - 2009

ISBN 978-85-902458-9-6

“Câncer: Sugestões de Pesquisas Científicas para sua Cura”

1.ª Edição (21 Sugestões) - 2005

ISBN 978-85-902458-4-1 (ANTIGO ISBN 85-902458-4-5)

2.ª Edição (Revista e Ampliada) (48 Sugestões) - 2007

ISBN 978-85-902458-6-5

3.ª Edição (Revista e Ampliada) (69 Sugestões) - 2009

ISBN 978-85-902458-8-9

4.ª Edição (Revista e Ampliada) (71 Sugestões) - 2010

ISBN 978-85-910052-1-5

5.ª Edição (Revista e Ampliada) (72 Sugestões) - 2010

ISBN 978-85-910052-2-2

“Como Parar de Fumar: Dois Métodos para Abandonar o Cigarro — Apêndice: Conheça seu Aparelho Respiratório”

1.ª Edição - 2004

ISBN 978-85-902458-3-4 (ANTIGO ISBN 85-902458-3-7)

2.ª Edição (Revista e Ampliada) - 2007

ISBN 978-85-902458-7-2

3.ª Edição (Revista e Ampliada) - 2010

ISBN 978-85-910052-0-8

4.ª Edição (Revista e Ampliada) - 2010

ISBN 978-85-771865-6-3

5.ª Edição (Revista e Ampliada) – 2013

ISBN 978-85-910052-4-6

“Doenças Sexualmente Transmissíveis (DST)”
1.ª Edição (Ilustrado com 51 Fotografias de DST) – 2006
ISBN 978-85-902458-5-8 (ANTIGO ISBN 85-902458-5-3)

"A Santíssima Trindade e a Astrologia"
1.ª Edição - 2014

ISBN 978-85-910052-5-3

2.ª Edição (Revista e Ampliada) - 2018

ISBN 978-85-910052-7-7

"The Holy Trinity and the Astrology"

First Edition - 2017

ISBN 978-85-910052-6-0

First Edition – 2017

ISBN 978-15-207282-4-7

Esta 2ª Edição, revista e ampliada, conta agora com 208 páginas e 67 imagens (gravuras e tabelas).

Para melhor compreensão do tema, foi inserido um capítulo com definições de ácidos e bases.

Monitoramento por imagens e dados de satélites ajudam a avaliar a concentração e disseminação de poluentes em tempo real, atualmente ao alcance de todos pela internet.

Esta nova edição traz números da produção e consumo de energia elétrica no Brasil, bem como das fontes de energia utilizadas pela indústria, automóveis, comércio, serviços, agricultura, residências, etc., visto serem os principais fatores a causarem chuva ácida, ao lado das queimadas. São também citados exemplos de avaliação e disseminação de poluentes no Brasil.

Problemas psicológicos em crianças e adultos podem enganar profissionais da saúde pela causa insuspeita de chuva ácida. Muitas são as consequências das precipitações ácidas à saúde humana. Padrões e índices de qualidade do ar ajudam no monitoramento da poluição atmosférica.

O aquecimento da Terra causado por atividades humanas gera um efeito estufa anormal que coloca em risco de sobrevivência o próprio homem e toda a vida do planeta.

Livro Registrado junto
à Fundação Biblioteca Nacional
sob o n.º ISBN 978-85-902458-9-6

9 788590 245896